# Die
# Faktoren der Wüstenbildung.

Teil I bis IV.

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt von der

philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin.

Von

HELENE WISZWIANSKI

aus Neuchâtel i. d. Schweiz.

Tag der Promotion: 19. Mai 1906.

REFERENTEN:
Professor Dr. von Drygalski.
Professor Dr. Branco.

Mit Genehmigung der hohen Fakultät kommen hier nur die ersten vier Teile der ganzen Arbeit zum Abdruck. Der Rest wird in den Veröffentlichungen des Instituts für Meereskunde und des Geographischen Instituts der Universität Berlin erscheinen.

E. S. MITTLER & SOHN
KÖNIGLICHE HOFBUCHDRUCKEREI
BERLIN SW68, KOCHSTRASSE 68—71.

Vorliegende Arbeit hat es sich zur Aufgabe gestellt, durch eine möglichst vielseitig durchgeführte, vergleichende Betrachtung aller Wüsten der Erde zu einer Wertabstufung der wüstenbildenden Kräfte zu gelangen.

Jede Wüste ist ein Individuum und als solches nicht nur allgemein gültigen Gesetzen, sondern auch individuellen Regeln und Bedingungen unterworfen, was das Wüstenproblem zu einem äußerst verwickelten macht. Es schien mir nun wichtiger, das weitschichtige, wenn auch oft lückenhafte Material, das mir zu Gebote stand, zu einer getreuen Darstellung verwickelter, aber tatsächlicher Verhältnisse zu verwerten, als durch der Grundlage entbehrende Verallgemeinerungen eine unnatürliche Vereinfachung herbeizuführen.

---

Zu den vornehmsten Aufgaben, welche die wissenschaftliche Erdkunde sich gestellt hat, gehört ohne Zweifel die Lösung geographischer Probleme nach genetischen Gesichtspunkten.

Dem stehen in unserer Wissenschaft besondere Schwierigkeiten entgegen. Diese beruhen teilweise auf der fast absoluten Unmöglichkeit eines experimentellen Vorgehens, teilweise auf der großen Vielfältigkeit der geographischen Begriffswelt und ferner auf dem Reize geographischer Forschung, der zu weitergehenden Folgerungen und Wanderungen auf dem Gebiete der Phantasie verleitet.

Es kann daher nicht wundernehmen, daß man über ein so komplexes Problem, wie das der Wüsten, noch nicht zu endgültiger Klarheit gelangt ist, trotzdem es zu den ältesten Problemen der Erdkunde gehört.

Denn seitdem es Denker gab, die sich mit den Erscheinungen der Erde beschäftigten, mußten die ungeheuren, mit Sand oder Gesteinsschutt erfüllten Einöden, die auf große Entfernungen hin allem Leben ein Ende machen, Aufmerksamkeit erregen. Die Anfänge dieser Aufmerksamkeit finden wir bei dem Volke, dessen scharfer und lebhafter Geist von jeher auf ein vertieftes Anschauen der Natur gerichtet war, bei den Griechen. Wie sollte auch der kühne Gedankenflug jener Männer, welche die wissenschaftliche Erdkunde geschaffen haben, nicht vor den weiten vegetationslosen Flächen, die ihrer Wanderlust vielfach eine Schranke setzten, fragend Halt machen?

Das dem großen Geschichtschreiber Herodot innewohnende Streben, die Grenzen des Wirklichen zu erweitern auf Kosten des Wunderbaren, Übernatürlichen, ließ ihn auch den Berichten der Reisenden jener Zeit mit einem berechtigten Skeptizismus entgegentreten. Er wird wohl bei mancher mit Fabeln ausgeschmückten Erzählung, welche ihm die Schrecknisse der nordafrikanischen Wüstenstriche auszumalen suchte, dieselben Worte ausgesprochen haben, wie bei der Kunde von der Umschiffung Afrikas: „ἐμοὶ μὲν οὐ πιστά.“ Herodot[1]) erklärt das Vorhandensein dieses Wüstengürtels durch die Nähe der Sonne, „deren Hitze die Menschen und das Land verzehrt“, und faßt ihn als eine Art Vorposten zu der noch viel heißeren unbewohnbaren Zone am Äquator auf.

Erst mit der Anerkennung der schon von Panätius Polybius und Krates, wahrscheinlich auch von Eratosthenes angenommenen Lehre von der Bewohnbarkeit der Äquatorialzone durch Posidonius,[2]) konnte die Vorstellung von einem gemäßigten Klima in der Nähe des Äquators sich Bahn brechen. An Stelle der einen verbrannten Zone des Parmenides und Aristoteles setzte Posidonius drei Zonen: eine gemäßigte, wohl bewohnbare, die sich in ziemlicher Breite nördlich und südlich vom Äquator ausdehnte, und daneben zwei infolge der längeren Zenithstellung der Sonne besonders heiße, kaum bewohnbare Zonen, die in weniger breiten Abständen den nördlichen und südlichen Wendekreis begleiteten. Das Interesse des Eratosthenes, später des Posidonius, an der Wüstennatur von Libyen, Arabien und Gedrosien ist wohl zum Teil auch darauf zurückzuführen, daß dieselbe ein besonders charakteristisches Merkmal des damals festgesetzten Parallels von Syene bildete, welcher durch jene Gegenden verlief.

Auch weiterhin waren es die nordafrikanisch-westasiatischen Wüsten, von denen man am meisten Kunde hatte, was ja in ihrer geographischen

---

[1]) Herodot, Hist., Bd. IV. cit. Schirmer, „Le Sahara“. Paris 1893. S. 2.

[2]) Berger, Geschichte der wissenschaftlichen Erdkunde der Griechen. 1887. Bd. II, 4. S. 65—68.

Lage, in ihrer Nachbarstellung zum Mittelmeergebiet genügend begründet liegt. So finden wir in den Reisewerken der arabischen Geographen Abulfëda, Ibn Batutah, sowie in den kompilatorischen Schriften von Edrisi zahlreiche Schilderungen der arabischen und persischen Wüsten, sowie der Sahara. Trotz der zuweilen verworrenen und widerspruchsvollen Angaben ist die Beobachtungsgabe dieser Reisenden unverkennbar. Im 10. Jahrhundert sagt Istakhri[3]) von der persischen Wüste Luth, sie wäre die furchtbarste Wüste von allen unter der Herrschaft des Islam stehenden Ländern. Ibn Batutah[4]) gibt uns eine Schilderung seines Durchzuges durch die persischen Wüsten und sagt, daß man sie nur zu einer Jahreszeit passieren könne, Anfang Juli, wenn die Regen in Sind und in Indien gefallen wären. Er warnt vor den in dieser Wüste herrschenden „giftigen" Winden. Leo der Afrikaner[5]) spricht von der Sahara, deren Name für ihn gleichbedeutend mit Wüste ist: „la terza parte che nella lingua latina è appellata Libia et nell' arabica non altremente che Sarra, cioè diserto — — —."

Über die Wüsten Zentralasiens herrschten bei den arabischen Geographen noch sehr unklare Vorstellungen. Selbst ein Forscher von der Klarheit Al Birunis[6]) konnte sich nicht zu einer rechten Vorstellung von der Natur jener Länder durchringen und übertraf seine Vorgänger nur in der größeren Genauigkeit, die er in die Nomenklatur des westlichen Tarim-Beckens einführte. Eine Erweiterung der Kenntnisse erfolgte dann durch Marco Polo,[7]) der nach einer Durchquerung der persischen Wüsten den Südrand des Tarimbeckens umging, dann einen weiten Wüstenmarsch nach dem Lop See unternahm, um von dort aus den Weg nach Su-tschou einzuschlagen. Marco Polo hat uns einen überaus fesselnden Bericht über die Lop-Wüste hinterlassen, von der er neben vielem Tatsächlichen ganz wunderbare Dinge zu erzählen weiß. Er meint, es wäre ein Jahr erforderlich, um sie der Länge nach zu durchreisen, er selbst will zu ihrer Durchquerung an der schmalsten Stelle einen Monat gebraucht haben. Ganz treuherzig berichtet er von den bösen Geistern, die dem Reisenden vornehmlich in der Nacht erscheinen und ihn vom richtigen Wege abzubringen suchen, dann von dem Klingen von Musikinstrumenten, das mitunter zu hören ist. Letztere Bemerkung Marco Polos ist auf ein Klangphänomen zurückzuführen, das in den Wüsten auftritt und auf inneren Verschiebungen in großen Sandanhäufungen beruht. In einer chinesischen

---

[3]) cit. Reclus, Nouvelle Géographie Universelle. Bd. IX. S. 175.
[4]) Voyages d'Ibn Batoutah (Defrémerey et Sanguinetti). Bd. III. S. 91.
[5]) cit. Schirmer, Le Sahara. S. 1.
[6]) cit. v. Richthofen, China. Bd. I. S. 566.
[7]) Ebenda Bd. I, S. 609, Colonel Yule, Travels of Marco Polo. Vol. I. S. 126—206.

Reisebeschreibung aus dem 10. Jahrhundert wird von den „singenden Sanden" der östlichen Lop-Wüste gesprochen.

Der peinvolle Widerstreit zwischen altem Glauben und neuem Wissen, den man durch das Mittelalter hindurch verfolgen kann, mußte auch für die nähere Erforschung des Wüstenproblems eine Hemmung bedeuten. Trotz der zahlreichen neuen Reiseberichte werden die Nachrichten der Alten meist kritiklos angenommen, so auch die aristotelische Zonenlehre.

Erst in dem großen Geographen der Renaissance, Albertus Magnus, erkennen wir den selbständigen Denker, der zu sehr auf eigenem Boden steht, um nicht zu den alten Überlieferungen grundsätzlich Stellung zu nehmen und sie, falls sie mit seinen Denkergebnissen nicht übereinstimmten, zu verwerfen. Er tritt der von seinen Zeitgenossen übernommenen Anschauung von einer heißen Zone am Äquator entgegen[8]) und hält sich hierbei zunächst an Ptolemäus und die Araber. Er teilt die heiße Zone in einzelne Zonen und betont, daß die in der Gegend des sommerlichen Wendekreises herrschende Hitze und Regenarmut weiter im Süden, am Äquator, wieder verschwinde. Die Frage, ob auf der südlichen Hemisphäre Menschen wohnen, löst er bejahend und stützt seine Ansicht durch den Ausspruch, daß die Menschen des nördlichen Erdviertels zu denen des südlichen gelangen könnten, ohne daß sie die Sonnenglut daran hindert, denn der Übergang durch die Wüstenzone wäre möglich, wenn er auch selten vorkommt, da jene Wüsteneien von schweren Stürmen heimgesucht werden und einen Durchzug von vielen Wochen erfordern. In seinen Betrachtungen über Berg- und Talbildung kommt Albertus Magnus auch auf die Tätigkeit des Windes in der Wüste zu sprechen:[9]) „In solchen Gegenden erfassen die Winde den Sand und lagern ihn an einer anderen Stelle ab, und so entsteht ein kleiner oder großer Berg, je nach der Menge des Sandes. Tritt außerdem noch Feuchtigkeit hinzu, so beginnt der Versteinerungsprozeß. Bleibt diese fern, so besitzen diese Sandberge nur an der Oberfläche durch das auf ihr wachsende Kraut und Wurzelwerk eine leidliche Kohärenz."

Die Nachricht von den gewaltigen Wüstenstürmen war durch die zahlreichen Berichte der Reisenden genügend verbreitet worden. Abt Rupert von Deutz[10]) führt die Wirkung des Windes in den Wüsten auf deren ebene Oberflächengestalt zurück und nennt die Gebirge eine weise Einrichtung der Vorsehung, dazu erschaffen, den sonst ungehemmt herrschenden Winden Widerstand zu leisten: „Wisse nämlich, daß, wenn die

[8]) cit. Kretschmer, Die physische Erdkunde im chr. Mittelalter. Wien 1889. S. 139—141.

[9]) Ebenda S. 127.

[10]) Ebenda S. 121.

Erde überall eben verliefe, so würden die Winde und Stürme auf ihr nicht geringer sein als auf dem Meere. Denn noch jetzt pflegen in Gegenden, die der Gebirge entbehren, und zwar besonders in der Libyschen Wüste, jene Stürme Fußgänger und Reiter mitzureißen gleich wie auf dem Meere. In diesen ebenen und völlig öden Erdgegenden wühlt der Wind den sandigen Erdboden auf, und der mit ungeheurer Gewalt getriebene Sandstaub füllt Mund und Augen des Reisenden und hält ihn in seinem Marsche auf, ein Schiffbruch, wie er auf dem Meere nicht größer sein kann."

Bis in das 18. Jahrhundert hinein bewegen sich die Anschauungen in demselben Kreise. Man könnte sagen, daß erst seit dem Erscheinen der geistvollen Abhandlung Alexander von Humboldts „Über Steppen und Wüsten" eine wissenschaftliche Betrachtung der Wüsten datiert. Zum ersten Male finden wir in bezug auf die Entstehung der Wüsten in scharfsinniger Weise das klimatologische Element betont. Humboldt schrieb die Kahlheit der Sahara dem trockenen NO.-Passat zu, der über sie hinwegstreiche. Doch er war noch zu sehr in den Ansichten seiner Zeit befangen, um die klimatische Ursache als die allein wirksame anzuerkennen, und schrieb einen Teil der Schuld an der Öde einem früheren Meereseinbruch zu, der alle Dammerde von der Sahara fortgeschwemmt und nur unfruchtbaren Boden hinterlassen habe.

Wie sehr diese Vorstellung die herrschende war, zeigen auch die Erörterungen Kants über Wüsten, die wir in seiner „Physischen Geographie" lesen können.[11]) Er spricht da von den Schrecken der arabischen Wüste, die eine Bereisung derselben so lange erschwere, „als die Natur nicht diese aus dem Meere emporgestiegenen und noch in ihrem rohen Zustand befindlichen Wüsten durch ihre überall wirksame Bildungskraft endlich etwa in Land umschafft, wenn es sie vielleicht nach und nach mit Erde auf mancherlei Wegen bekleidet." In einem unvollständigen Manuskript „Von den Wüsten"[12]) sieht Kant den Grund der Dürre weniger in der Regenarmut, als in der Durchlässigkeit des Bodens.

In Peschels Studie „Über Wüsten, Steppen und Wälder" begrüßen wir den Versuch, durch vergleichende Beschreibung der Wüsten dem Probleme ihrer Entstehung näher zu treten. Doch muß dieser Versuch bei aller Anregung, die er verbreitete, als unzulänglich bezeichnet werden, weil Peschels Gedankengang noch ganz von den damals herrschenden meteorologischen Theorien beeinflußt war.

Erst die sich an die vielen erfolgreichen Reisen des letzten Jahrhunderts knüpfenden tatsächlichen Forschungsergebnisse konnten das nötige Material zu einem theoretischen Aufbau liefern, der nach oben hin

[11]) Kant, Phys. Geographie. II. Teil. S. 81.
[12]) cit. Günther, Lehrb. d. Geophysik. I. 1885. S. 640.

wohl noch recht unvollendet ist, aber doch auf sicheren Grundlagen ruht. Wie sehr haben schon allein die Beobachtungen Sven Hedins in Zentralasien zur Erweiterung und Verfestigung dieses Baues beigetragen!

Man könnte annehmen, daß mit einem progressiven Fortschritt im Erkennen des Wesens der Wüsten die Fähigkeit einer schärferen Definition des Begriffes Wüste Hand in Hand gehen müßte. Doch ist dies kaum der Fall. Je nachdem er vom meteorologischen, geologischen, pflanzengeographischen Gesichtspunkte aus aufgefaßt wird, sehen wir den Begriff eine wechselnde Bedeutung annehmen. Dabei sind zwei Tatsachen als leitend zu betrachten: die durch Wasserarmut bedingte Vegetationslosigkeit der Wüsten und ihre daraus hervorgehende Unbewohnbarkeit.

Peschel bezeichnet Wüste als „völlig oder beinahe entblößten Boden",[13]) Schimper als „eine durch dem Pflanzenleben feindliche Bedingungen eintretende Verkümmerung des Gehölz- und Grasflurtypus".[14]) In Hermann Wagners Lehrbuch der Geographie finden wir die Definition: „Unter Ödland und Wüste verstehen wir alles, was den äußersten Grad der Vegetationsarmut anzeigt bis zur tatsächlichen Vegetationslosigkeit".[15])

Dagegen sagt Grisebach[16]): „Etwas physikalisch Gemeinsames liegt den Wüsten der Polarländer und denen der Kontinente Asien und Afrika überhaupt nicht zugrunde, sondern es wird durch diese Bezeichnung nur die Unbewohnbarkeit von Landstrecken ausgedrückt, wo auch Tiere keine genügende Nahrung finden."

Eine Hauptschwierigkeit wird immer die Scheidung der Begriffe Wüste und Steppe machen, da beide durch zahllose Übergänge miteinander verknüpft sind. Ein Mittelglied zwischen Wüste und Steppe und die wesentlichen Kennzeichen von beiden tragend sind die von Walther so benannten Halbwüsten,[17]) welche im Gegensatze zu den abflußlosen Wüsten und den mit regelmäßigem Abfluß versehenen Steppen nur unvollkommen drainiert werden. Schon aus dieser Definition ergibt sich der unstete nomadisierende Charakter der Halbwüsten. Sie sind, wie Walther hervorhebt, nur zeitlich und räumlich bedingt. Manche Einöden des westlichen Asiens, Nordamerikas und Inner-Australiens, sowie die Küstenstriche von Peru und Patagonien könnten als Typen solcher Halbwüsten gelten. Außerdem kommen sie aber in kleinerer Anordnung in den meisten Wüstenländern vor, denn selten geht die Wüste unvermittelt ins Steppenland über, meist schiebt sich ein Streifen Landes dazwischen, der bald in das eine, bald in das andere

[13]) Peschel, Neue Probleme der Erdkunde. Leipzig 1878. S. 154.
[14]) Schimper, Pflanzen-Geographie. 1898. S. 177.
[15]) H. Wagner, Lehrb. d. Geogr. I. 1900. S. 605.
[16]) Grisebach, Vegetation der Erde. Leipzig 1884. S. 384.
[17]) Walther, Das Gesetz der Wüstenbildung. 1900. S. 60/61.

Grenzgebiet übergreift. Es ist meines Wissens nur einmal der Versuch gemacht worden, Wüste und Steppe scharf gegeneinander abzugrenzen. Auf Grund seiner klimatologischen Studien, stellte Köppen[18]) den Quotienten aus monatlicher Regenmenge in mm durch die der Mitteltemperatur desselben Monats entsprechende Maximalspannung des Wasserdampfes in mm als solchen Grenzausdruck auf und bestimmte seine Größe an der Grenze zwischen Wald und Steppe = 4,0 an jener zwischen Steppe und Wüste = 2,2. Doch so lange nicht dieser Ausdruck durch sichere meteorologische Daten gestützt wird, bleibt er ein mathematischer Begriff, der eine praktische scharfe Scheidung von Wüste und Steppe nicht ermöglicht. Auch scheint es mir kaum wünschenswert, eine solche Grenze zu ziehen, da, wo die Natur sie durch tausend Übergänge verwischt.

Einen fundamentalen Unterschied zwischen Wüste und Steppe, der für alle Fälle bestehen bleibt, hat F. von Richthofen hervorgehoben:[19]) „Der kleinste oasenartige Steppenfleck ist vor Abräumung durch Wind geschützt oder erhält nur feinerdige Ablagerungsprodukte. Sowie die gröberen Reste der Aufbereitung auf die Oase gewälzt werden, wird sie in Wüste verwandelt.

Die allmählichen Übergänge der Wüsten in Steppen beruhen teilweise ganz auf klimatischen Ursachen — ein regenarmes Gebiet geht in eines mit reichlichem Regen über —, teilweise auf einer Änderung der Höhenlage oder auch auf einem Wechsel der geognostischen Faktoren.

Beispiele für ersteren Fall bieten in vorzüglicher Weise die Sahara und die australischen Wüsten. Hier wie dort sind die Grenzen der Wüste sehr schwer festzustellen, da die Grenze der Regen von Jahr zu Jahr wechselt. Ebenso geht die südwestafrikanische Küstenwüste in eine mit Taogras, Büschen und Pflanzen bewachsene Steppe über,[20]) aus denselben Ursachen verwandelt sich die Wüste Karakum in die turkmenischen Steppen.

Für den zweiten Fall bietet das westliche Nordamerika ein Beispiel, wo der fortwährende Wechsel von Höhen und Tiefen die Übergänge zwischen Wüste und Steppe stetig erneuert, so daß ein Auseinanderhalten beider um so schwerer ist.

Es muß zu den Ausnahmen gerechnet werden, wenn die Wüste scharf und gänzlich unvermittelt mit regenreichen Gegenden in Berührung tritt, wie die Gobi zwischen Ku-lang-shien und Liang-tschou-fu.[21]) Sonst sind die Wüsten Zentralasiens fast überall von einem vermittelnden

---

[18]) Köppen, Versuch einer Klassifikation d. Klimate. 1900. S. 17.
[19]) Richthofen, Führer für Forschungsreisende. 1901. S. 497.
[20]) Dove, Klima des außertrop. Südafrika. 1888. S. 122.
[21]) Lóczy, Wissensch. Ergebn. d. Reise d. Grafen Széchenyi in Ostasien. Bd. I. S. 501.

Randgebiete begleitet. Hedin[22]) fand am Rande der Takla Makan einen von Steppen unterbrochenen Sandgürtel mit niedrigen und rudimentären Dünen. Nur an einigen Stellen konnte er keinen deutlichen Übergang feststellen. So bildet die nördliche Grenze der Takla Makan ein Waldgürtel, bis in dessen unmittelbare Nähe sich der Sand erstreckt. 6 m hohe Dünen stehen zwischen den Bäumen. Oft setzten Seen der Wüste eine Grenze. So preßt sich der westliche Rand der Lop-Wüste mit Gewalt gegen das ganze Seengebiet des nördlichen Lop Nor, wo die Dünen überall steil ins Wasser fallen.

Diese allmählichen Übergänge machen eine Schätzung des Areals der Wüsten sehr schwierig. Dennoch ist eine solche verschiedentlich unternommen worden. Ein Vergleich der beiden vorliegenden Berechnungen von Ravenstein und von Hermann Wagner ergibt ziemlich große Unterschiede.[23])

Ravenstein. Areale in square miles
(von Supan umgerechnet in Tausende qkm).

| Landflächen | Kulturland | Steppe | Wüste | Summe |
|---|---|---|---|---|
| Europa . . . . . | 7480 | 1727 | — | 9207 |
| Asien . . . . . | 24034 | 10955 | 3108 | 88097 |
| Afrika . . . . . | 14918 | 9137 | 5765 | 29820 |
| Australasien . . . . . | 3022 | 3903 | 1590 | 8515 |
| Nordamerika . . . . . | 12810 | 3639 | 236 | 16695 |
| Südamerika . . . . . | 10950 | 6640 | 117 | 17707 |
| Festland ohne Polargebiete | 73214 | 36000 | 10826 | 120041 |

H. Wagner. Areale in Millionen Quadratkilometer.

| Landflächen | Wald | Kulturland | Steppe | Ödland | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| Europa . . . . . | 3,0 | 4,4 | 0,6 | 2,0 | 10,0 |
| Asien . . . . . | 13,0 | 9,0 | 9,2 | 13,0 | 44,2 |
| Afrika . . . . . | 9,0 | 5,3 | 8,5 | 7,0 | 29,8 |
| Australasien und Inseln . | 1,3 | 1,0 | 3,4 | 3,3 | 9,0 |
| Nordamerika . . . . . | 9,0 | 3,5 | 4,0 | 7,5 | 24,0 |
| Südamerika . . . . . | 8,0 | 3,8 | 4,0 | 2,0 | 17,8 |
| unbek. Polargebiete . . | — | — | — | 9,6 | 9,6 |
| Summe | 43,3 | 27,0 | 29,7 | 44,4 | 144,4 |
| | 70,3 | | 74,1 | | |

[22]) Hedin, P. M. Erg.-Bd. XXVIII. 1900. S. 267.

[23]) H. Wagner, Lehrb. d. Geogr. S. 623. — Ravenstein, Proc. R.-Geogr. Soc. 1891. — Supan, P. M. 1891. L.-B. 2188.

Die sehr erheblichen Unterschiede zwischen beiden Berechnungen beruhen hauptsächlich auf der subjektiven Auffassung des Begriffes Wüste. Nach Hermann Wagner hat von allen Kontinenten Asien das größte Wüstenareal, es folgen Nordamerika, Afrika, Australien, Südamerika. Ravenstein hat den Begriff der Wüste enger gefaßt. Dieses zeigt nicht nur sein Gesamtareal von 11 Millionen im Gegensatz zu den 35 Millionen H. Wagners, die nach Abrechnung der Polarwüsten übrig bleiben, sondern auch die verschiedene Reihenfolge seiner Areale: Afrika, Asien, Australien, Nordamerika, Südamerika. Wir müssen, da unsere Betrachtung eine rein geographische ist und die von H. Wagner besser gewürdigten volkswirtschaftlichen Gesichtspunkte nicht in Frage kommen, in diesem Falle die Berechnung Ravensteins der viel genaueren H. Wagners vorziehen, weil sie mehr unserer geographischen Auffassung von den Wüsten entspricht. Demnach betrügen alle Wüsten zusammengenommen etwa 11 Millionen qkm, was ungefähr $^1/_{45}$ der gesamten Erdoberfläche entspricht.

## Geographische Lage.

Betrachten wir auf einer Karte der Vegetationsgebiete der Erde die Verteilung der Wüsten nach geographischen Breiten, so finden wir den weitaus größten Teil der Wüstengebiete in der nördlichen gemäßigten Zone. Es gehören dahin die Glieder des großen Wüstengürtels der alten Welt: die Sahara, die nördliche arabische Wüste, die persischen Wüsten, die Wüste Tharr in Indien und ferner die Wüsten Turans und Zentralasiens sowie die nordamerikanischen Wüsten, in die südliche gemäßigte Zone ein Teil der australischen Wüsten, die Atacama, die südwestafrikanische Küstenwüste. Ganz in der Tropenzone gelegen ist die große arabische Wüste Dahna, außerdem greifen Teile der Sahara, der südwestafrikanischen Wüste, der Atacama und Inner-Australiens in dieselbe hinein.

Das Auffallendste an dieser Verteilung ist entschieden der zusammenhängende Wüstengürtel der nördlichen gemäßigten Zone gegenüber ihrer mäßigen Entwicklung in der südlichen gemäßigten Zone und ihrem fast vollständigen Fehlen in den Tropen.

Angesichts dieser Thatsache sind nur zwei Anschauungen möglich. Entweder man faßt die Wüsten als einen Bestandteil der gemäßigten Zone auf, als Unterbrechungen sonst normaler klimatischer Verhältnisse, oder aber man erkennt sie als zusammenhängenden klimatischen Gürtel an und erklärt die in dessen Bereiche vorkommenden Regengebiete als Anomalien. Letztere Ansicht, welche den Vorteil hat, auf allgemein

gültigen meteorologischen Tatsachen zu fußen, ist besonders von Guyot[1]) vertreten worden. Sein Bestreben, die in jenen Breiten an den Ostseiten der Kontinente gelegenen Regengebiete als Anomalien zu deuten, führte ihn zu folgender Erörterung: Den Passaten ist die Seltenheit der Regen in der Wüstenzone zuzuschreiben, sie sind es, welche die Trockenheit des Klimas schaffen. Die von der relativen Verteilung der Kontinente und Meere herrührenden Monsune verursachen dagegen die reichlichen Regen, welche die Kontinuität der Wüstenzone unterbrechen. Diese Monsune sind nirgends ausgesprochener als in Südostasien, wo sie der allgemeinen Luftzirkulation entgegenwirken und ihre Stellung weit jenseits der trockenen Zone, bis nach Japan hin, siegreich behaupten. Daß das östliche Drittel des nordamerikanischen Festlandes von dieser Regel abweicht, indem dort die Regenmenge von der Küste nach dem Innern zunimmt bis zu einem Abstande von 1000 Meilen, läßt sich aus der Gestalt dieses Kontinentes erklären. Nordamerika hat eine dreieckige Gestalt, sein größter Teil liegt im Norden. Das infolge der Überhitzung der ausgedehnten Landmassen im Sommer entstehende barometrische Minimum lenkt die Südwestwinde von ihrer Richtung ab und wandelt sie in Südwinde um, die den Wasserdampf vom warmen mexikanischen Golf herbeiführen.

Das allgemeine Zirkulationsgesetz der Winde erklärt ebenfalls, warum die Wüsten der südlichen Hemisphäre den Tropen näher liegen als die der nördlichen. Die überwiegende Ausdehnung der Landmassen im Norden hat es zur Folge, daß die Mitte des Kalmengürtels nördlich vom Äquator liegt und das ganze passatische und antipassatische System etwas nach Norden gerückt wird. Dieselbe Ursache liegt auch der größeren Ausdehnung des Wüstenareals auf der nördlichen Hemisphäre zugrunde, da große Festlandsräume erforderlich sind, um einheitliche barometrische Provinzen hervorzubringen, in denen die Faktoren des Wüstenklimas zur vollen Ausbildung gelangen. Im afrikanischen Kontinent finden wir diesen Gegensatz sehr ausgesprochen. Im Norden große räumliche Ausdehnung des Festlandes, die der Entwicklung eines einheitlichen klimatischen Gebietes, der Sahara, förderlich ist, im Süden ein mehr inselartiges Auftauchen des Kontinents aus den Meeren und infolgedessen eine große Mannigfaltigkeit der klimatischen Bedingungen, welche eine gleichmäßige Ausbildung wüstenbildender Faktoren nur auf einen so engen Raum, wie ihn die südwestafrikanische Küstenwüste vorstellt, einschränkt.

Grisebach[2]) hat einmal den Satz aufgestellt, daß die Wüste, wo sie sich über weite Flächen ausdehne, der Wirkung der Atmosphärilien, wo sie sporadisch verteilt ist, dem Niveau oder der Mischung der Erd-

[1]) Guyot, Amer. Journ. of Sc., Ser. 3. Vol. XXVI. S. 161.
[2]) Grisebach, Veget. d. Erde. S. 406.

krume zuzuschreiben sei. Man kann diesen Satz nicht für alle Fälle unterschreiben, besonders da die von Grisebach zur Unterstützung seines Ausspruches herangezogenen Beispiele der Wüsten Persiens und Transkaspiens demselben eher zu widersprechen scheinen. Außerdem zeigen es andere Wüsten von kleinem Flächeninhalt, wie die Küstenwüsten Südafrikas und Südamerikas, daß die orographischen und geognostischen Faktoren bei ihrer Bildung nur eine sekundäre Rolle spielen gegenüber der tiefgreifenden Wirkung klimatischer Faktoren.

Fassen wir die Lage der Wüsten im Innern und an der Küste ins Auge, so müssen wir uns der Zweideutigkeit bewußt sein, die in dem Begriffe „kontinental" liegt, je nachdem er im klimatischen oder räumlichen Sinne gebraucht wird. In der Tat kann, wie es spätere Ausführungen zeigen werden, ein Gebiet alle Merkmale des kontinentalen Klimas besitzen und doch an der Küste gelegen sein. Kontinentalität des Klimas ist den meisten Wüsten eigen, doch sind es nur wenige, die eine ausgesprochen kontinentale Lage haben. Im strengsten Sinne des Wortes können nur die aralokaspischen und zentralasiatischen Wüsten als Binnenwüsten bezeichnet werden, während die Teile des afrikanisch-asiatischen Wüstengürtels sowie die Wüsten Nordamerikas und Australiens als Mittelglieder aufzufassen sind zwischen den genannten Binnenwüsten und den ausgesprochenen Küstenwüsten Südafrikas und Südamerikas. Die indische Wüste sowie die Wüstengebiete Kaliforniens und Arizonas neigen sehr der Kategorie der Küstenwüsten zu. Am eigenartigsten ist das Verhältnis in Australien, wo die Wüsten eigentlich das Innere des Kontinentes einnehmen, aber durch dessen geringe Ausdehnung dem Meere nahe sind. Dies besonders in dürren Jahren, wo nach Lespagnol die Wüste weit herübergreift und bis ans Meer reicht.[3])

Aus alledem können wir die Folgerung ziehen, daß nicht die Nähe des Meeres der Wüstenbildung ungünstig ist. Es kommt auf die Lage des Meeres in bezug auf die herrschenden Winde an, welche durch das Verfrachten maritimen Wasserdampfes die Arbeit der Wüstenkräfte hemmen.

Die Lage der beiden litoralen Wüsten an den Westseiten der Kontinente wird durch Gesetze der Luftzirkulation bestimmt. Sehr auffällig ist dagegen das einmalige Auftreten wüstenhaften Gebietes an der Ostseite des südamerikanischen Festlandes. Man ist über jene Teile Patagoniens so unzulänglich unterrichtet, daß man kaum mit Sicherheit sagen darf, ob sie zu den Wüsten oder Halbwüsten gerechnet werden müssen. Aus den vorhandenen Nachrichten scheint es doch hervorzugehen, daß der Wüstencharakter dieses Gebietes stellenweise ziemlich stark entwickelt

[3]) Lespagnol, Annales de Géographie. 1898.

ist. Das Gebiet südlich vom Rio Negro wird auf den spanischen Landkarten als „travesia", d. h. als wasserlose steinige Wüste bezeichnet. In F. Latzina: Géographie de la République Argentine wird über das Territorium Chubut geschrieben: das ganze Plateau ist unbewohnt, erst am Abfall nahe der Küste ist schwache Bevölkerung. Darwin bezeichnet die mit Geröllen und einer weißlichen Erde bedekten Wüstenstrecken in der Umgebung von Port Desire, auf denen hie und da ein brauner harter Grasbusch oder ein Dornenstrauch wächst, und die stellenweise von weiten Salzflächen unterbrochen werden, als typisch für jenes Gebiet. In dem Werke von Lino Carbajal „La Patagonia" ist eine Schilderung der patagonischen Salzpampas enthalten, die im Sommer verbrannt und vegetationslos sein sollen wie eine „festgestampfte Straße". Köppen, dem wir alle diese Angaben verdanken,[4]) möchte das jeder Begründung entbehrende Auftreten des patagonischen Wüsten- oder Halbwüstengebietes auf das Vorhandensein von kaltem Küstenwasser zurückführen. Es würde allerdings dagegen sprechen, daß die charakteristischen Kennzeichen der von kaltem Wasser umspülten Küsten, nämlich die feuchten Nebel, dort fehlen, wie Carbajal in seinem schon genannten Werke berichtet.

Der Meereshöhe nach, gehören die meisten Wüsten der Mittelstufe 200—2000 m an. Hier und dort senken sie sich aber unter das Meeresniveau herab, und in den Gebirgswüsten wird auch vielfach die Grenze von 2000 m überschritten.

Die größte Seehöhe hat die Atacama-Wüste, die in einzelnen Teilen bis etwa 3000 m ansteigt, sowie gewisse Wüstengebirge Zentralasiens, z. B. die Abhänge des Nan-schan. Die Durchschnittshöhe der zentralasiatischen Wüsten, die einen fortwährenden Wechsel von Höhen und Tiefen aufweisen, ist auf 1000—1500 m zu schätzen. Der Weg von Hami bis Su-tschou, den Futterer[5]) zurücklegte, steigt von 900 m bis zu einer Seehöhe von 2000 m an um dann auf 1300 m herabzugehen und schließlich wieder bis über 1500 m anzusteigen. Von Su-tschou in östlicher Richtung zwischen Ala-schan und dem Nordfuß des Nan-schangebirges weitergehend, stellte Futterer Seehöhen von 1400—2700 m fest. Die mittlere Höhe der Sahara ist von Chavannes auf 460 m geschätzt worden.[6]) Doch auch in dieser Wüste sind die Höhenwerte sehr schwankend. Sie erreicht 250 m in den Höhen von Tibesti und sinkt in den Depressionen von Bodele und Djuf auf 160—120 m herab. Eine Feststellung der Höhen der arabischen und persischen Wüste dürfte ähnliche Werte und ähnliche Schwankungen ergeben.

[4]) Köppen, Vers. e. Klass. d. Kl. S. 26, 45.
[5]) Futterer, Durch Asien. Bd. III. Lief. 3. S. 37.
[6]) cit. Schirmer, Le Sahara. S. 14.

Nirgends ist der Wechsel der Seehöhe auf kurze Entfernungen hin ausgesprochener als im Wüstengebiete Nordamerikas. Loew[7]) ließ für das zwischen Rocky Mountains und Sierra Nevada gelegene, bis zur mexikanischen Grenze reichende Gebiet als Regel gelten, daß alles zu den echten Wüsten gehört, was unter 1000 m, und zu den Halbwüsten, was zwischen 1000 und 1700 m gelegen ist. Walther[8]) gibt als mittlere Höhe der Wüsten von Utah und Colorado 1500 m an. Stellenweise nehmen sie Depressionen ein. So senkt sich die Coloradowüste in Death Vallay 33 m unter den Meeresspiegel.

Die Küstenwüste Südwestafrikas steigt vom Meeresniveau bis etwa 600 m in der Namib an und erreicht dann in den Bergländern von Nama-Land eine mittlere Höhe von 1000—2000[9]) m. Als ungefähre Grenzwerte für die australischen und für die indische Wüste wären zu nennen 200—600 m, für die Wüsten des transkaspischen Tieflandes 50—200 m.

Es soll hiermit nur eine Übersicht der Höhenverhältnisse der Wüsten gegeben werden, natürlich machen die meisten der genannten Zahlen, die größtenteils auf Schätzung beruhen, keinen Anspruch auf Genauigkeit. Doch es wäre viel wesentlicher, statt der absoluten Höhen die relativen Höhen der Wüstengebiete festzustellen, weil dieselben die klimatischen und hydrographischen Beziehungen zu den Grenzgebieten weit besser wiederzuspiegeln vermögen. Ein Beispiel dafür bietet das Burchan Buddo-Gebirge südlich von Tsaidam (4660 m), das trotz seiner Höhe die Schneelinie nicht erreicht und sehr wüst und öde ist. Die Ursache davon ist, wie Wojeikoff[10]) hervorhebt, die geringe relative Höhe dieses Gebirges, welche im Gegensatz steht zu seiner großen absoluten Höhe. Die sich an seiner hochgelegenen Stelle hinziehende warme Wüste ist von den höchsten Punkten nicht weit entfernt, und die dorthin gelangende Wüstenluft ist infolgedessen noch heiß genug, um allen Schnee zu vertreiben.

## Morphologische Regionen.

Mit der relativen Höhe der Wüstengebiete hängt ihre morphologische Gliederung zusammen, der wir nunmehr unsere Aufmerksamkeit schenken wollen.

Ein Versuch, sämtliche Wüsten in die verschiedenen morphologischen Regionen der Erde einzureihen, begegnet insofern großer Schwierigkeit, als noch so manches Wüstengebiet in morphologischer Hinsicht eine terra

[7]) Loew, Mitt. Ver. f. Erdk. zu Leipzig. 1976. S. 5.
[8]) Walther, Verh. G. f. Erdk. 1892. S. 55.
[9]) Dove, Klima d. außertr. Südafrika. S. 123.
[10]) Wojeikoff, Österr. Meteor. Zt. 1877.

incognita ist und außerdem eine ungeheure Verwirrung und Unklarheit in der Anwendung morphologischer Begriffe herrscht. Ich brauche nur an die widerspruchsvolle Anwendung des Wortes Plateau zu erinnern, die schon F. von Richthofen zu einer scharfen Kritik in seinem „Führer für Forschungsreisende" veranlaßte.[1])

Noch in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts waren irrige Ansichten über das Relief der Sahara verbreitet. Humboldt sprach von dem großen Tiefland der Sahara,[2]) und andere sprachen es dem Altmeister der geographischen Forschung nach. Heute ist man über die Oberflächengestalt der Sahara im klaren. Felsige Hochebene, flache oder leicht gewellte Dünenebenen, beckenartige Depressionen, weite Zeugenlandschaften lösen einander entweder in raschem Wechsel ab, oder es behauptet eine der Oberflächenformen auf große Entfernungen hin die Alleinherrschaft. Die vorherrschende Form ist doch die Hochfläche. So stellt die Libysche Wüste eine riesige Hochfläche dar, deren Schichten in wenig gestörter Lagerung nach Norden abfallen. Dagegen bietet die westliche und zentrale Sahara kein so regelmäßiges Bild. Doch die Kräfte, welche diese Teile der Sahara zu einer Aufeinanderfolge von Tälern, Ebenen und Becken gestaltet haben, sind lediglich exogene Kräfte. Die verschiedenen Niveauveränderungen, welche die Sahara erlitten hat, haben die flache Lagerung ihrer Sedimente nicht gestört. Sie ist der Typus eines echten Tafellandes. Die saharische Tafel setzt sich nach Arabien fort, dessen Wüsten in kleinerem Maßstabe die wesentlichen Züge der Oberflächengestalt der Sahara aufweisen.

Der von Supan[3]) aufgestellte Typus der ausgefüllten Landsenken wird durch die Wüsten Zentralasiens und Nordamerikas vertreten. Das Prinzip des Gegensatzes beherrscht den ganzen Bau des Great Basin. Vom Lone Peak im Wahsatch-Gebirge bis zur Westgrenze Nevadas, auf einer Länge von 700 km, lösen Ebene und Gebirge neunzehnmal einander ab. Diese Schollengebirge, die von breiten, mit jugendlichen Gebilden ausgefüllten Ebenen eingerahmt werden, sind die letzten Stadien eines seit dem Tertiär andauernden Dislokationsprozesses.[4])

Die Oberflächengestalt der Wüsten Zentralasiens weist im wesentlichen ähnliche Züge auf. Im großen und ganzen stehen wir demselben Wechsel von Ebene und Gebirge gegenüber, der uns im westlichen Nordamerika entgegentritt. Daß die Berge, welche die weiten Ebenen unterbrechen, bald inselartig gruppiert sind, bald kettenartig gelagert auf-

[1]) v. Richthofen, F. f. Forsch. S. 668.
[2]) v. Humboldt, Ansichten der Natur. S. 69.
[3]) Supan, Grundzüge der phys. Erdkunde. 1896. S. 443, 481.
[4]) Ebenda.

steigen, ist nur ein nebensächliches Moment. Genau ist uns durch Futterer[5]) der orographische Bau des Pe-schan, jener hochgelegenen Felsenwüste zwischen zwei Depressionen am Fuß des Karlüktag und des Tian-schan, bekannt. Der Pe-schan stellt einen Sockel von 1400—1700 m Höhe dar, der sich bis 2130 m Höhe erhebt. Es sind ihm fünf größere fast parallele Gebirgszüge aufgesetzt, die von ONO nach WSW streichen und durch breite longitudinale Talmulden getrennt sind.

Auf die morphologische Verwandtschaft des Great Basin mit Zentralasien, sowie auf die morphologischen Unterschiede beider Gebiete, welche vornehmlich in dem kleinen Maßstab der Anordnung der einzelnen Elemente im Great Basin und in dem schroffen Charakter von dessen Gebirgen bestehen, hat schon F. von Richthofen in seinem China-Werke aufmerksam gemacht. Einige der großzügigen Gedanken seien hier wörtlich wiedergegeben:[6]) „Könnte man das Great Basin aus der Vogelperspektive überblicken, so würde die zellgewebeartige Anordnung mit ihrem Rost von Meridianketten und den kleinen verbindenden Querriegeln, welche die langgestrekten meridional gerichteten muldenförmigen Zellen trennen, deutlich hervortreten. Unter den letzteren würden sich größere und kleinere unterscheiden lassen, aber nirgends würden wir den großartigen Bau von Zentralasien erkennen, nirgends jene Zusammenfügung von kleineren Becken zu ausgedehnten, durch gewaltige Gebirge getrennten Gruppen erblicken, von denen eine auf einem hohen Plateau liegt, während die benachbarte eine tiefe Einsenkung bezeichnet.“ In dieser Anordnung und in der hervorragenden Rolle des Vulkanismus unterscheidet sich nach v. Richthofen der Bau des Great Basin von dem Zentralasiens.

Die Oberflächengestalt des aralokaspischen Tieflandes läßt sich auf ähnliche Vorgänge wie diejenigen, welche die eben besprochenen ausgefüllten Landsenken geschaffen haben, zurückführen. Nach Supan lassen die inselartig aus den lockeren Oberflächengebilden aufragenden Erhebungen darauf schließen, daß es eine aufgesetzte Ebene über einem Schollenlande ist.[7])

Den jugendlichen peripherischen Flachböden, die durch Anschwemmung oder Strandverschiebung dem Lande einverleibt wurden und die Supan als angefügte Ebenen bezeichnet hat,[8]) dürften die indische und kalifornische Wüste angehören.

Wenn sich auch die Anschwellungen des Hochlandgebietes Südamerikas an Ausdehnung nicht mit denen Zentralasiens messen können,

---

[5]) Futterer, P. M. 1903. Erg.-Bd. XXX. S. 34.
[6]) v. Richthofen, China. Bd. I. S. 179/180.
[7]) Supan, Grundz. d. ph. Erdk. S. 448.
[8]) Ebenda.

so sind auch hier mächtige Hochflächen zwischen den Gebirgen eingeschaltet. Eine solche Hochfläche ist die Wüste Atacama. Darapski, dem wir die ausführlichsten Angaben über die Morphologie der Atacama verdanken,[9]) sagt, daß man nur an einer Stelle — vom oberen Lauf des Chaco bis zur Agua de Breas in der Quebrada del Carrizal — von einer großartig anschwellenden Ebene reden kann. Im Nordwesten der Linie von Candeloros nach Breas erinnert die einem Netze zusammenhangloser Depressionen gleichende Landschaft kaum mehr an eine Ebene. Man kann das Relief der Atacama-Wüste als das Resultat eines langandauernden Denudationsprozesses ansehen. Daß die Rolle der Erosion bei der Gestaltung des heutigen Reliefs eine sehr unbedeutende war, wird durch das fast gänzliche Fehlen von Tälern bewiesen. An ihrer Stelle sind von den denudierenden Kräften Senken geschaffen worden, die von scheinbar unregelmäßig angeordneten Kuppen überlagert sind. Und doch entbehrt nach Darapski dieses Gewirr von Kuppen und Senken nicht einer gewissen Gesetzmäßigkeit, indem die Bergketten, wenn sie diesseits einer Depression für das Auge verschwinden, jenseits derselben sich ungestört fortsetzen und in parallelen Absätzen wiederholen.

Darapski hat die Neigung zur Gegensätzlichkeit hervorgehoben, die sich im ganzen Bau der Atacama kundgibt. Die höchsten Erhebungen sind immer den tiefsten Senken benachbart, wie es die Beispiele der über 3000 m hohen Vulkane, welche dem Salar de Aguas Blancas und dem tiefen Salar de Atacama vorgelagert sind, ferner im kleinen die den Einzelbergen und Hügeln entsprechenden Wannen und Nischen beweisen.

Das Deutsch-Südwestafrikanische Küstengebiet stellt nach Schenck[10]) ein vollständig in Trümmer aufgelöstes, in seinem eigenen Verwitterungsschutte begrabenes altes Hochgebirge dar. Aus der sich an der Küste ausbreitenden Dünenlandschaft steigt die Namib, eine flachwellige, wenig geneigte Ebene auf, die von flachen Abflußrinnen mit verhältnismäßig starkem Gefälle durchfurcht ist, welche den spärlichen Regenmassen als Abzugskanäle dienen. In dem höher gelegenen Berglande von Groß-Namaland wechseln Hochflächen mit Depressionen ab und verleihen diesem Gebiete den Charakter der Regellosigkeit. Nach Gürich[11]) werden die Wasserscheiden nicht durch Berge und Höhenzüge, sondern durch flache Rücken gebildet. „Die Berge und Felsenhöhen stehen anscheinend völlig regellos verteilt auf jenem im allgemeinen flach geneigten, aber doch nach dem Innern des Landes immer höher ansteigenden Systeme von schiefen Ebenen. Es ist, als ob jene Gebirge gar nicht dem jetzigen

[9]) Darapski, Taltal. 1900. S. 23—27.
[10]) Schenck, Verh. d. D. Geographen-Tages. 1893.
[11]) Gürich, Verh. Hamb. Ges. f. E. 1892. S. 37, 161.

Erosionssystem angehörten, sondern die letzten Reste eines anderen, völlig abweichend orientierten Erosionssystems darstellten".

Ein richtiges Bild von der Konfiguration des Landes haben wir aber erst, seitdem sich durch die bedeutenden Forschungen Passarges der Begriff der Inselberglandschaft[12]) wissenschaftlich eingebürgert hat. Inselberglandschaften nennt Passarge jene Gebiete, wo aus ebenen Flächen isolierte Berge gleich Meeresinseln auftauchen. Jene Berge mögen nahe aneinandergerückt sein oder in weiten Abständen stehen, das Hauptcharakteristikum bleibt immer die absolute Schroffheit, mit der sie aus der Ebene aufragen. Nur selten bildet eine alluviale Schuttdecke einen Übergang. Nach Passarge gibt es nur eine Kraft, die imstande ist, solche Inselberglandschaften zu schaffen. Das ist der flächenhaft wirkende Wind in Wüstengebieten. Insofern entsprechen sie vollkommen den Zeugenlandschaften, die in der Sahara und in Arabien weit verbreitet sind, nur daß sie im Gegensatze zu den in Entstehung begriffenen Zeugenlandschaften der heutigen Wüste fossile, dem Zerstörungsprozeß fast unterlegene Zeugenlandschaften sind.

Typische Inselberglandschaften finden wir nicht nur in Deutsch-Südwestafrika, sondern auch im Bereiche des alten westaustralischen Rumpfes. Inselartige Schollen kristallenen Gesteins steigen unvermittelt aus den weiten Sandsteinflächen auf und rauben der Landschaft den Charakter der Ebenflächigkeit. Das Innere von Australien darf gewiß als Tafelland gelten. Im übrigen ist das morphologische Bild, das wir uns von Westaustralien machen können, ein sehr unzulängliches.

Ob nicht gewisse Anzeichen auf das Vorhandensein einer Inselberglandschaft innerhalb der indischen Wüste hindeuten?

Ich entnehme der Geologie von Medlicott und Blanford die Bemerkung,[13]) die Form der Felshügel bei Balmir und Jesalmir zeige, daß sie von subaerischer Denudation gebildet wären, und es ist wahrscheinlich, daß der zentrale Teil der Wüste Land war, während das Industal, der Ran of Cutch und das Lunital vom Meere eingenommen wurden. Weitere diesbezügliche Forschungen würden nicht nur ein bedeutendes Licht auf die klimatischen Verhältnisse des Mesozoikums in Indien werfen, sondern auch in bezug auf die Verteilung von Land und Meer in mesozoischer Zeit wichtige Aufschlüsse liefern.

Es ist sehr bedauerlich, daß die in jeder Hinsicht spärlichen Nachrichten über die persische Wüste Luth uns über das Relief derselben

---

[12]) Passarge, Die Kalahari. 1004. S. 636ff. Naturw. Wochenschr. S. 657. Zt. d. D. Geol. Gesellsch. 1904. S. 193.

[13]) Medlicott and Blanford, A Manual of the Geology of India. S. 263/264.

nur ungenügend aufzuklären vermögen. Wir wissen nur, daß es ein Hochland ist, zwischen dessen einzelnen Hebungssystemen tiefe Becken oder flache Mulden eingesenkt sind, die zum Teil mit Aufschüttungsmassen ausgefüllt sind. Eine genaue Kenntnis der Morphologie dieser Wüste wäre aber insofern besonders erwünscht, als hier der Wüstenprozeß ganz ungewöhnlich fortgeschritten zu sein scheint.

Dies führt uns zur Erörterung folgender allgemeinen Frage:

Welches Relief ist der Wüstenbildung am günstigsten? Die Betrachtung der Oberflächengestalt der Wüsten lehrte uns, daß zwei Formen vorherrschen: die Hochfläche und die Depression. Schirmer hat in seinem klassischen Werke „Le Sahara" das Plateau von geringer Höhe und regelmäßiger Struktur als das Relief bezeichnet, das der Ausbildung der Wüstenkräfte am förderlichsten wäre.[14]) Er beruft sich dabei auf den stärker entwickelten Wüstencharakter der Libyschen Wüste gegenüber der zentralen und westlichen Sahara, ferner auf die furchtbaren Einöden in den einförmigen Plateaugebieten Westaustraliens.

In einer längeren Abhandlung hat Lapparent[15]) das Wesen der Depression, ihren Einfluß auf die Entwicklung der wüstenbildenden Faktoren besprochen. Nach Lapparent genügen meteorologische Tatsachen nicht zur Erklärung gewisser Wüsten, z. B. des Great Basin von Nordamerika, dessen topographische Grenzen zusammenfallen mit der 20-cm-Linie des Regenfalles. Daraus, wie aus der Tatsache, daß diese Konkordanz sich ebenso bei den abflußlosen Gebieten der nördlichen Sahara, Arabiens, Persiens, Zentralasiens und Australiens geltend macht, zieht Lapparent die Folgerung, daß die Natur der Depression an sich eine Rolle in der Wüstenbildung spielt. Hierbei betont er nicht nur den Zustand der Abflußlosigkeit der meisten Depressionen, sondern zieht auch zur Begründung seiner Ansicht Prinzipien der Thermodynamik heran. Die von Lapparent gewählten Beispiele sind um so beweiskräftiger, als sie Gebiete betreffen, welche Abfluß nach dem Meere haben und außerhalb des Bereiches großer trockener Luftströmungen liegen: Die Küste von Cotentin erhält 800—900 mm Regen, die dahinterliegende Ebene von Caen 200 mm weniger. In der tiefen Zone zwischen Tours und Reims beträgt das Regenmittel 500—600 mm und dasselbe gilt für die Depression der Auvergne, die von Gebieten umgeben ist, wo der jährliche Regenfall 100 cm und mehr beträgt. Lapparent sucht die Ursache dieser Erscheinung in der thermodynamischen Tatsache, daß Winde, welche die Abdachungen einer Depression herabsteigen, sich erwärmen müssen, wodurch

[14]) Schirmer, Le Sahara. S. 186.
[15]) Lapparent, Annales de Géogr. 1896—1897.

eine föhnartige Wirkung hervorgebracht wird. Eine andere Ursache liegt in der rudimentären Ausgestaltung des Reliefs, die den Depressionen aus hydrographischen Gründen eigen ist. Auf diesen von Lapparent erwähnten Punkt, auf das Unfertige der Ausgestaltung des Wüstenreliefs infolge der Ohnmacht der fließenden Gewässer, kann nicht genug Wert gelegt werden.

Zwei Grundsätze sind es, welche die Oberflächengestalt der Wüsten beherrschen: Regellosigkeit und Gegensätzlichkeit. Nicht durch ihre Einförmigkeit ist die Hochfläche der Wüstenbildung förderlich, sondern dadurch, daß sie den Charakter des Wüstenklimas reiner ausbildet als irgend eine andere Oberflächenform, wie es spätere klimatische Betrachtungen zeigen werden. Tritt sie in Verbindung mit Depressionen auf, wie es ja in den meisten Wüsten der Fall ist, sei es, daß die Depressionen in die Hochfläche eingesenkt oder zwischen Hochflächen eingeschaltet sind, so wird das erreicht, was Lapparent so treffend als den „état rudimentaire du modelé“ bezeichnet hat.

## Gebirge und Wüste.

Die Rolle der Gebirge in bezug auf die Wüstenbildung ist eine doppelte, je nachdem sie das Wüstengebiet umranden oder innerhalb desselben liegen. Im ersten Falle sind sie Wetterscheiden, im zweiten Regenerzeuger.

Fast alle Wüsten sind von Randgebirgen umsäumt, und sobald der Fall eintritt, daß diese Gebirge senkrecht zur Richtung von feuchten Luftströmungen stehen, so zeigt sich der bekannte Gegensatz zwischen der feuchten Windseite und trockenen Leeseite, der sich auch auf weitere Entfernungen vom Fuße des Gebirges hin fühlbar macht. Nirgends ist dieser Kontrast so augenfällig wie in Persien, wo auf der einen Seite der südlichen persischen Höhenzüge die reichen fruchtbaren Provinzen von Kirman und Schiras gelegen sind, auf der anderen Seite die furchtbare Wüste Luth. Während das Elbrusgebirge und die südpersischen Berge die Trockenheit Persiens zum Teil hervorbringen, kommen dank den syrischen Bergzügen die Südwestwinde regenlos in Arabien an. In Südamerika erreichen die feuchten Passate ganz trocken die Leeseite der Anden und erzeugen die Küstenwüste. Ebenso kommt in Südafrika der Passat, nachdem er die Küstenhochländer überstiegen hat, trocken ins Innere, und seine Trockenheit nimmt progressiv nach Westen hin zu. Ähnlich verhält sich das Gebirge im Osten und Nordosten Australiens zum Innern. Es fängt die von den Winden verfrachtete Feuchtigkeit auf. So gelangt die Luft schon trocken in die heißen Depressionen des Murray

und Darling, deren außerordentlich durchlässiges Gestein noch den letzten Rest von Feuchtigkeit, der vorhanden sein könnte, aufsaugt.

Die hohen Gebirge, welche die nordamerikanischen Mulden umrahmen, berauben jede Luftströmung, von welcher Seite sie auch kommen mag, ihres Wasserdampfes, ehe sie ihr Einlaß ins Innere der Depression gewähren.

Wäre nicht das Tarim-Becken durch eine mehrfache Riesenmauer gegen Süden abgesperrt von den regenbringenden Monsunen, so würden sich seine Wüsten, die alle anderen Wüsten Zentralasiens an Öde übertreffen, von den letzteren kaum unterscheiden. Die einzigen Wüsten, welche ganz der Randgebirge entbehren, sind die transkaspischen Wüsten. Hier ist es die extrem kontinentale Lage, deren ungünstiger Einfluß das Fehlen von Trockenheit erzeugenden Bergzügen kompensiert.

Wird eine Wüste von einem Gebirge begrenzt, auf welches verhältnismäßig trockene Winde antreffen, so wird die Wirkung natürlich nicht so wesentlich sein. Es handelt sich dann mehr um eine Erhöhung als um eine Erzeugung der Trockenheit. Den besten Beleg dafür bietet die Sahara. Das Atlasgebirge im Norden der Sahara trägt nur wenig dazu bei, die Trockenheit dieser Wüste zu erhöhen, da die Nord- und Nordostwinde, welche das Gebirge übersteigen, schon an sich durch ihre Richtung trocken sind. Schirmer[16]) hebt den Einfluß hervor, den dagegen eine Bergkette im Süden der Sahara haben müßte, an welche die feuchten südlichen Winde allen Wasserdampf verlieren würden. Doch ist ja eine solche nicht vorhanden und die Rolle der Gebirge als Wetterscheiden in der Sahara nur unbedeutend.

Gebirge im Innern der Wüste wirken im Gegensatz zu den Randgebirgen den wüstenbildenden Faktoren entgegen, indem sie horizontale Luftströmungen zwingen, sich aufwärts zu bewegen, und so relativ trockene Winde in Regenwinde verwandeln. Eine solche Rolle spielen die aus der Sahara aufsteigenden Bergzüge von Aïr, Tibesti und Ahaggar, ferner die Berge der arabischen Wüste, welche mitten in der Einöde Oasen der Winterregen schaffen. In Australien sind es die McDonnell-Berge, die Barrow Ranges und andere Bergzüge, welche Lücken in der Kontinuität der Wüsten erzeugen, ebenso die Damara-Berge in Südwestafrika. Nirgends jedoch ist ihre Wirkung so ausgesprochen wie im nordamerikanischen Wüstengebiete, das im Gegensatze zu den meisten übrigen Wüsten in viele bewaldete Abschnitte zerfällt, weil jedes größere Gebirge infolge der Zunahme des Regens eine Oase vorstellt.

[16]) Schirmer, Le Sahara. S. 75/76.

## Das Wüstenklima.

Daß die Behandlung eines so umfangreichen Themas wie das Wüstenklima auf so engem Raum unbefriedigend sein muß, ergibt sich aus der Natur klimatologischer Erörterungen, die eine gewisse Breite und Ausführlichkeit beanspruchen.

Die Hauptursache der Unzulänglichkeit der folgenden Aufzeichnungen ist aber die Spärlichkeit, ja oft der vollständige Mangel genauer meteorologischer Daten, ohne deren Diskussion man in den Kausalzusammenhang der klimatischen Erscheinungen eines Gebietes schwerlich eindringen kann.

Das Fehlen fortlaufender meteorologischer Beobachtungen in Wüstengebieten ist ja in der Schwierigkeit eines längeren Aufenthalts daselbst genügend begründet. So war ich in den meisten Fällen auf mehr oder weniger flüchtige Aufzeichnungen durchreisender Forscher angewiesen, während eigentliche meteorologische Zahlenreihen nur aus den Oasen vorhanden sind, in denen sich ja im großen und ganzen der klimatische Ckarakter des betreffenden Wüstengebietes wiederspiegelt, die aber auch vielfach unrichtige Vorstellungen erwecken dürften. Die von mir zum Zwecke der Erläuterung des Wüstenklimas konstruierten Kurven drücken den Gang der klimatischen Elemente in solchen Orten aus, die, wenn auch nicht in der Wüste gelegen, derselben doch nahe genug sind, um unter ähnlichen klimatischen Bedingungen zu stehen.

### Temperatur.

Die Temperatur jedes Gebietes ist vor allem von drei Elementen abhängig: der geographischen Breite, der Höhe über der Meeresfläche, der Kontinental- oder Seelage. Zahlreiche andere Einflüsse, die modifizierend wirken, gewinnen aber oft solche Bedeutung, daß sie den Einfluß der genannten drei Elemente zum Teil oder ganz unterdrücken. Dies muß natürlich besonders in der Wüste der Fall sein, dem Spielplatze widerspruchsvoller, sich gegenseitig aufhebender Kräfte.

Bei einer Betrachtung der Temperaturverhältnisse der Wüsten drängt sich zuerst die Frage auf, welcher Ausdruck ihren Wärmezustand am besten zu charakterisieren vermag, und da ergibt es sich bald, daß der kürzeste Ausdruck dafür, die mittlere Jahrestemperatur, als Charakteristikum vollständig wertlos ist. Wie farblos dieses Mittel ist, zeigt am besten ein Vergleich der mittleren Jahrestemperaturen von Wüsten mit denen gemäßigter Landstriche. Die mittlere Jahrestemperatur schwankt in der Sahara zwischen 20° und 23°, im Innern von Deutsch-Südwestafrika beträgt sie nur 18—19°, während sie in dem gemäßigten Klima

von Rio de Janeiro 23,6° beträgt.[1]) Ebenso ist die mittlere Jahrestemperatur der transkaspischen Wüstenländer nur eine geringe, weil die verhältnismäßig große Zahl der Tage, an welchen die Temperatur unter 0 sinkt, die exzessive Sommerwärme kompensiert.[2])

Dagegen liefert der Temperaturunterschied der Mittel des wärmsten und kältesten Monats einen wichtigen klimatischen Ausdruck — die mittlere Jahresschwankung der Temperatur. Es gebührt Supan das Verdienst, diesem Begriffe in der wissenschaftlichen Meteorologie Stellung verschafft und die erste Karte von Linien mittlerer Wärmeschwankung veröffentlicht zu haben.[3])

Die mittlere Jahresschwankung der Temperatur erreicht in den meisten Wüsten einen hohen Wert, wie es folgende Zahlen[4]) zeigen mögen:

| | |
|---|---|
| Urga (Zentralasien) | 44° |
| Petro Alexandrowsk (Transkaspien) | 40°8 |
| Ghardaia (Sahara) | 25°5 |
| Bickaneer (Indien) | 22°8 |
| Ft. Mohave (Nordamerika) | 24—25° |
| Daly Waters (Australien) | 40,6° |
| Hoachanas (Deutsch-Südwestafrika) | 17° |

Nun fragt es sich aber: sind nicht Monate zu lange Zeitabschnitte, um aus ihren Mitteln einen Ausdruck für die Wüsten zu abstrahieren? Es scheinen mir alle diesbezüglichen Bedenken hinfällig zu sein, da, wie schon Köppen hervorhob,[5]) die Erfahrung bewiesen hat, daß der Monat eher ein zu kurzer Zeitabschnitt für diese Zwecke ist und insofern die Anwendung der selten berechneten Jahreszeitenmittel für pflanzengeographische Zwecke noch mehr zu empfehlen wäre.

Es wird verschiedentlich der absoluten Jahresschwankung der Temperatur, d. i. der Differenz aus den absoluten Jahresextremen der mittleren Wärmeschwankung, der Vorzug gegeben.

Betrachten wir die Linien absoluter Jahresschwankung, wie wir sie auf der Karte von van Bebber[6]) in vieljährigem Durchschnitt veröffentlicht finden, so sehen wir, daß die meisten Wüsten: die Wüsten Nordamerikas, Südamerikas, Südwestafrikas, Arabiens und Indiens zwischen den Linien

---

[1]) Wojeikoff, Die Klimate der Erde. I. S. 370.

[2]) v. Schwarz, Turkestan. 1900. S. 561.

[3]) Supan, Zt. für wiss. Geogr. Bd. I.

[4]) a) Wojeikoff, Ö. M. Z. 1877. S. 380. b) v. Schwarz, Turkestan. S. 559. c) Hann, M. Z. 1893. S. 471. d) Blanford, Climates etc. S. 304. e) Schirmer, Le Sahara (Kurve). S. 105. f) Hann, M. Z. 1895. S. 398/99. g) Gürich, Verh. Hamb. Ges. f. E. 1892. S. 54.

[5]) Köppen, Vers. e. Klass. d. Kl. S. 9.

[6]) van Bebber, P. M. 1893.

von 30° und 40° liegen, während die Differenz in Australien und der Sahara 40° übersteigt und in Zentralasien 50° bis 70° erreicht. In der Tat findet das Zunehmen der absoluten Jahresschwankung in den Wüsten auf zu kleinen Räumen statt, um auf der Karte berücksichtigt zu werden. Aus den Berichten von Reisenden entnehmen wir für die meisten Wüsten sehr hohe Extreme:[7])

| | |
|---|---|
| Sahara | 50° |
| Arabien | 49,5° |
| Deutsch-Südwestafrika | 46° |
| Australien | 53° |
| Nordamerika | 49° |

Neben der jährlichen ist noch die tägliche Wärmeschwankung ein sehr beachtenswerter klimatischer Begriff. Sie drückt entweder den Unterschied zwischen der höchsten und tiefsten Tagestemperatur aus (unperiodische tägliche Wärmeschwankung) oder die Differenz zwischen der größten und kleinsten Ordinate der mittleren Tageskurve (periodische tägliche Wärmeschwankung).[8])

Die in Wüstengebieten beobachteten Tagesschwankungen der Temperatur werden fast immer unperiodische sein, da ihre Ermittelung ja eine viel leichtere ist. Sie beträgt 12° in Turan,[9]) 13°[10]) im Innern von Australien, 25° in Deutsch-Südwestafrika[11]) (Omaruru, September 1885), 32° in der Atacama (Las Salinas).[12]) Schirmer hat in seinem Werke „Le Sahara" Mittel der täglichen Wärmeschwankung für verschiedene Orte der Sahara zusammengestellt:[13])

| | |
|---|---|
| Ayata (1890/1891) | = 15,4° |
| Murzuk (Winter 1865/1866) | = 15,5° |
| Audjila (Mai 1879) | = 19,7° |
| Kufra (August—September) | = 22,2° |
| Borku (1871) | = 25° |

Mit der mittleren täglichen Temperaturschwankung nicht zu verwechseln ist die nur an einem Tage beobachtete Tagesschwankung, welche gegebenenfalls einen sehr hohen Wert erreichen kann. So hat Przewalski[14]) in Ordos im Mai eine Tagesschwankung von 26°, Euting in der arabischen

---

[7]) a) Schirmer, Le Sahara. S. 105. b) Euting, Verh. G. für E. 1886. S. 273. c), d) und e) Schirmer, cit. Le Sahara. S. 105.

[8]) Supan, Grundz. d. ph. Erdk. S. 78/79.

[9]) Ebenda.

[10]) Ebenda.

[11]) Gürich, Verh. Hamb. Ges. f. E. 1892. S. 59.

[12]) Harding, Journ. of the R. Geogr. Soc. 1877. S. 252.

[13]) Schirmer, Le Sahara. S. 100.

[14]) cit. Wojeikoff, Ö. M. Z. 1877. S. 373.

Wüste im August 30° festgestellt.[15]) Die größte Tagesschwankung in den afrikanischen Wüsten ist die von Barth unter 27,8° n. Breite und in 300 m Seehöhe ermittelte Wert von 35°.[16]) Zu Wickenburg in Arizona war sie am 28. Juli 1877 von 38,9°, am 31. Juli von 42,2°.[17]) Diese schon sehr hohen Werte werden doch alle von einem übertroffen, den ich für die persische Wüste Dascht-i-Luth erwähnt fand, wo die Temperatur nach Dieulafoy 13° vor Sonnenaufgang und 62° in der Sonne schon um 8 Uhr morgens erreicht haben soll.[18])

Der Einfluß der topographischen Verhältnisse auf die Temperatur der Wüsten ist unverkennbar. Im allgemeinen wird ja mit zunehmender Höhe ein Sinken sowohl der mittleren Jahrestemperatur wie auch der jährlichen Wärmeschwankung stattfinden, wie es folgende von Schwarz mitgeteilte Zahlen für einige Stationen Turans zeigen:[19])

| | Höhe | Mittlere Jahresschwankung |
|---|---|---|
| Naryn und Karakol | 843 | 52,7 |
| Osch und Margelan | 807 | 58,4 |
| Taschkent und Dschisak | 437 | 63,5 |
| Chodschent und Taschkent | 281 | 65,5 |
| Perowsk und Petro Alexandrowsk | 137 | 71,2 |
| Kasalinsk | 72 | 72,7 |

Die sehr geringen Abweichungen von der Regel dürften lokalen Einflüssen zuzuschreiben sein.

Gleiche Verhältnisse ergibt ein Vergleich der Temperaturen von vier der indischen Wüste benachbarten Stationen:[20])

| | Höhe | Mittlere Jahrestemperatur | Mittlere Jahresschwankung |
|---|---|---|---|
| Jacobabad | 57 | 25,9 | 22,3 |
| Multan | 128 | 24,6 | 22,3 |
| Lahore | 214 | 23,8 | 22,1 |
| Quetta | 1677 | 14,6 | 21,1 |

Die Abhängigkeit der jährlichen wie der täglichen Wärmeschwankung von den topographischen Verhältnissen ist natürlich damit nicht klargestellt. Es treten dadurch Komplikationen ein, daß es sich nicht nur um zu- oder abnehmende Höhe, sondern auch um morphologische Verhältnisse handelt. So können Erscheinungen des Hochflächenklimas störend eingreifen, auch der Unterschied von Bergen, Tälern und Ebenen

---

[15]) Euting, Verh. G. f. E. 1886. S. 273.
[16]) Supan, Gr. d. ph. Erdk. S. 79.
[17]) Ebenda.
[18]) cit. Reclus, N. Geogr. Univ. IX. S. 179.
[19]) v. Schwarz, Turkestan. S. 562.
[20]) Hann, Handb. d. Klimatologie. 1897. II. S. 173.

bringt Unterschiede hervor, welche Wojeikoff in dem Satze zusammengefaßt hat: eine konvexe Oberfläche (Hügel, Berg) ist eine Ursache, welche die tägliche und jährliche Amplitude der Temperatur verkleinert, eine konkave Oberfläche (Tal, Mulde) vergrößert dagegen die jährliche Amplitude der Temperatur.[21])

Wie sehr die Wärmeabnahme mit der Höhe störenden Einflüssen unterliegt, lehrt das Beispiel von der Atacama-Wüste, das uns Darapski mitteilt.[22]) Philippi hat dort beobachtet, wie beim Erheben auf nahe an 2000 m das Thermometer zuerst sank, dann aber stetig anstieg und erst nahe dem Hochgebirge sprungweise fiel. Der Einfluß der Höhe wird also hier durch die Natur des Bodens, seine starke Wärmeausstrahlung, überwogen. Ähnliches erkannte man in Deutsch-Südwestafrika, und gerade das Vorkommen in diesen beiden typischen Küstenwüsten zeigt, daß diese scheinbare vertikale Temperaturzunahme ihre Ursache hat in der intensiven Zurückstrahlung der kahlen Felsen und in der Abwesenheit der Nebel, welche die Temperatur der Küsten herabsetzen.

Inwieweit die Kontinental- oder Seelage der Wüstengebiete deren mittlere Temperatur beeinflussen kann, ist oft wegen der großen Zahl mitwirkender Faktoren schwer zu erkennen.

In den Küstenwüsten ist sie durch den Einfluß der kalten Meeresströmung sehr niedrig, aber auch in dem vielleicht am kontinentalsten gelegenen Wüstengebiete, dem transkaspischen, ist sie, wie schon hervorgehoben, gering.

Auch die mittlere Jahresschwankung, die theoretisch von den Küsten gegen das Innere zunehmen müßte, zeigt hierin Abweichungen. Dasselbe gilt von der Tagesschwankung. Letztere beträgt in Australien nur 40 km von der Küste 13°, ist also um 1° größer als in dem kontinentalen Transkaspien.

Nur selten findet die Zunahme der mittleren Jahresschwankung regelmäßig von der Küste nach dem Innern statt, wie dies in Australien der Fall ist.[23])

| | Mittlere Jahrestemperatur | Mittlere Jahresschwankung | Absolute Jahresschwankung |
|---|---|---|---|
| Port Darwin | 27,3° | 4,8° | 23,4° |
| Daly Waters | 26,3° | 11,1° | 40,6° |
| Strangway Springs | 21,3° | 16,2° | 42,9° |
| Alice Springs | 21,3° | 18,8° | 49,0° |

Bemerkenswert ist auch die aus der Tabelle hervorgehende Abnahme der mittleren Jahrestemperatur von der Küste nach dem wüstenhaften

[21]) Wojeikoff, Klimate. I. S. 166.
[22]) Darapski, Taltal. S. 101.
[23]) Hann, Handb. d. Klim. II. S. 232/233.

Innern, was wiederum beweist, wie wenig dieses Element die Wärmeverhältnisse eines Gebietes zu charakterisieren vermag.

Zum Schluß bleibt uns noch der Einfluß der geographischen Breite auf die Temperaturverhältnisse der Wüsten zu besprechen. Wir sahen schon bei Betrachtung der allgemeinen Verteilung der Wüsten nach Breitenzonen, daß der größte Teil derselben der gemäßigten Zone angehört. Der Widerspruch, den diese sich an die solaren Klimagürtel knüpfende Einteilung entstehen läßt, zwischen tatsächlichen Wärmeverhältnissen einerseits und der auf einer Namengebung beruhenden Wärmeverteilung anderseits, bedarf wohl keiner weiteren Besprechung. Wichtiger scheint es mir, die Lage der Wüsten innerhalb derjenigen Wärmezonen zu betrachten, die von Supan aufgestellt sind und anstatt durch Parallelkreise durch Isothermen abgegrenzt werden.[24]) In die „warme Zone" würden demnach einzureihen sein: die Wüsten Gila und Mohave, die Sahara, die Wüsten Persiens, Arabiens, Indiens sowie ein Teil der australischen Wüsten, während die Wüsten Zentralasiens, Transkaspiens und des Great Basin der nördlichen gemäßigten Zone, die Wüsten Westaustraliens, Südwestafrikas und die Atacama der südlichen gemäßigten Zone angehören. Bei den drei letzten ist die kalte Meeresströmung der Regulator der Wärme, bei den drei vorhergehenden allerdings die größere Entfernung vom Äquator.

Von anderen Gesichtspunkten ging Köppen aus[25]) bei seiner Einteilung der Erde in Klimaprovinzen, und zwar ist diese Einteilung für unsere Betrachtung insofern besonders wertvoll, als sie auf pflanzengeographischer Grundlage ruht. Von der Ansicht ausgehend, daß die Verteilung der Pflanzen auf der Erdoberfläche vornehmlich von den zwei großen Faktoren Wärme und Feuchtigkeit abhinge, hat Köppen zur Abgrenzung der Pflanzenreiche ein System von Wärmelinien und Dürrelinien aufgestellt. Als Material für dieses System benutzte er die Monatsmittel der Temperatur des wärmsten und kältesten Monats.

Das für uns allein in Betracht kommende Xerophilenreich teilt Köppen ein in 1) Küstenwüsten niedriger Breiten, 2a) binnenländische Wüsten und Steppen ohne strenge Winterkälte und 2b) binnenländische Wüsten und Steppen mit strengen Wintern. Diese gliederte Köppen nach der Temperatur und Feuchtigkeit in verschiedene Klimate, die er teils mit Pflanzennamen, teils mit meteorologischen Namen benannt hat. Es sei im folgenden die Köppensche Einteilung unvollständig wiedergegeben und nur diejenigen „Klimate" berücksichtigt, welche Wüstengebieten eigen sind:

[24]) Supan, P. M. 1879. Gr. d. ph. Erdk. S. 74—77.
[25]) Köppen, Vers. e. Klass. d. Kl.

1. Küstenwüsten niedriger Breiten, an kalten Meeresströmungen resp. emporquellendem Tiefenwasser gelegen, Garuaklima (Wüsten Südwestafrikas, Südamerikas, saharische Küste), durch häufige im Winter besonders starke Nebel gekennzeichnet, gleichzeitig mit der Trockenheit des Hinterlandes. Das Jahresmittel der Temperatur liegt noch unter 20° C trotz der geringen Entfernung vom Äquator.

2. Binnenländische Wüsten und Steppen ohne strenge Winterkälte (Temperatur des kältesten Monats über + 2° C) und mit starker Sommerhitze (22° — 36° C), außer in Patagonien.

Samumklima. Wärmster Monat mindestens 20° C, kältester 10° bis 22° C, Jahresmittel über 20° C. Große Tagesschwankung. Ihm gehören die meisten Wüsten an: die Sahara, die Atacama, die Wüsten Australiens, Nordamerikas, Indiens, Arabiens, ferner auch die auf der Köppenschen Karte nicht als zum Samumklima gehörig eingetragene persische Wüste.

3. Binnenländische Wüsten und Steppen mit strengen Wintern (kältester Monat + 2° bis — 30° C) und kurzen, heißen Sommern (wärmster Monat + 20° bis + 30° C).

Buranklima. (Zentralasien, Turan) winterkaltes Wüstenklima mit Schneestürmen, kältester Monat + 2° bis — 10° C.

In bezug auf die jährliche Temperaturkurve unterscheidet Köppen fünf Haupttypen, deren Verteilung er auf einer seiner Abhandlung beigegebenen Karte dargestellt hat:

1. der äquatoriale mit fast ganz gleichförmiger Temperatur während des ganzen Jahres.

2. der europäische mit Temperaturmaximum 1—2 Monate nach der Sommersonnenwende (Sahara, Wüsten Arabiens, Persiens, Transkaspiens, Zentralasiens, Nordamerikas, Südamerikas, Südwestafrikas, Australiens),

3. der indische, in welchem die größte Wärme ins Frühjahr fällt (Wüste Tharr),

4. der kapverdische mit Maximum im Herbst (ein Teil der südwestafrikanischen Küste, etwa bei Walfischbai) und

5. der sudanesische mit Wärmeminimum im Sommer und Wärmemaximum im Frühjahr.

Dieselbe jahreszeitliche Temperaturverteilung findet bis auf einige durch lokale Einflüsse bedingte Abweichungen in den Temperaturkurven der bezüglichen Wüstengebiete ihren Ausdruck.

## Erdbodentemperatur.

Über Erdbodentemperatur sind bis jetzt wenig Beobachtungen gemacht worden. In Anbetracht der wichtigen Rolle, welche die Insolation in der Wüstenbildung spielt, wäre es aber von höchstem Interesse, ihre Wirkung,

die sich in der Temperatur des Erdbodens kundgibt, zu bestimmen. Nach Hann genügen für klimatologische Zwecke schon Beobachtungen in den obersten Schichten bis zu 1—2 m Tiefe und an der Erdoberfläche selbst.[26])

Aus den wenigen vorliegenden Beobachtungen ergibt es sich, daß die Differenzen zwischen Luft- und Bodentemperatur zugunsten der letzteren in den Wüsten meist bedeutend höher sind, als in Ländern mit gemäßigtem Klima. Wie sehr sich die Differenzen bei Trockenheit des Klimas verschärfen, zeigen die von Eliot[27]) in einigen Stationen Indiens ausgeführten Vergleichsmessungen der Boden- und Lufttemperatur. In allen fand er die Bodentemperatur um einige Grad höher als die Lufttemperatur. Der Überschuß nahm aber folgendermaßen zu:

| | |
|---|---|
| Calcutta | 2,7° F |
| Allahabad | 3,5° F |
| Lahore | 5,8° F |
| Jeypore | 6,3° F |

Nach Stapff ist die mittlere Bodentemperatur zu Hopemine 25,5°, also noch immer um etwa 6° höher als die mittlere Lufttemperatur, nach Wheeler[28]) die Temperatur des Wüstensandes in 1 Fuß Tiefe in den kalifornischen Wüsten 35° C bei einer Lufttemperatur von 22° C. Auch für die Sahara ergeben die Beobachtungen von Foureau[29]) erhebliche Differenzen, wie aus folgenden Zahlenreihen ersichtlich:

| Region | Zeit | Beobachtungsstunde | Lufttemp. im Schatten | Bodentemp. in der Sonne |
|---|---|---|---|---|
| Iferouan | 1899 26. März | 1h p. | 39° 8 | 69° 0 |
| | 15. April | „ | 40° 0 | 65° 2 |
| | 19. „ | „ | 40° 0 | 65° 4 |
| | 20. „ | „ | 42° 0 | 62° 5 |
| | 21. „ | „ | 41° 0 | 68° 0 |
| | 7. Mai | „ | 42° 0 | 62° 0 |
| | 8. „ | „ | 44° 0 | 63° 4 |
| | 9. „ | 1h 50 | 44° 7 | 68° 8 |
| | 10. „ | 1h 0 | 45° 2 | 69° 8 |
| | 12. „ | 1h 45 | 45° 2 | 70° 6 |
| | 13. „ | 2h p. | 45° 3 | 68° 9 |
| | 14. „ | 12h 50 | 45° 6 | 70° 3 |
| | 15. „ | — | 44° 8 | 68° 6 |
| | 16. „ | 1h 30 | 44° 0 | 70° 0 |
| Aguellal | 13. Juni | — | 44° 3 | 68° 5 |
| | 18. „ | 3h 20 | 44° 0 | 66° 2 |

[26]) Hann, Handb. d. Kl. Bd. I. S. 47.
[27]) Eliot, Nature. 1892. S. 217.
[28]) Wheeler, P. M. Bd. 22. S. 413.
[29]) Foureau, Documents Scientifiques de la Mission saharienne. Paris 1903. S. 57.

Die oft ungeheuren Werte der Bodentemperatur machen uns die große Wirkung der Wärme in den Wüsten noch mehr verständlich.

Nach Obrutschew[30]) sind in den zentralasiatischen Wüsten an Sommertagen die Felsen 60—70° heiß, während sie sich nachts auf 20—25° abkühlen. Im Winter beträgt die Tagesschwankung der Temperatur der Felsen 40—45°, im Frühling und Herbst steigt sie oft bis 50—55°. Harding[31]) hat in der Atacama 62—63° Bodentemperatur gemessen.

Auf seiner Durchquerung der Gobi hat Futterer[32]) wiederholt Messungen der Erdbodentemperatur angestellt, deren Resultate von G. v. Elsner bearbeitet worden sind. Die Hauptergebnisse sind folgende:

Das Minimum der Temperatur 1 cm unter der Oberfläche war stets durchschnittlich um 3,8° größer als das Minimum der Lufttemperatur. Gleich nach Sonnenaufgang war jedoch das umgekehrte Verhältnis zu beobachten. An einigen Tagen des Mai bestand dasselbe sogar noch um die Mittagszeit und vormittags. Auch in den ersten Tagen des Juni fanden zwischen Boden- und Lufttemperatur bald positive, bald negative Differenzen statt. v. Elsner weist mit Recht auf das eigentümliche Verhalten der Bodentemperatur als auf eine bemerkenswerte Erscheinung hin und schließt daraus auf eine außerordentlich geringe Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens. Er zieht auch zur Erklärung die Tatsache einer mehr direkten Erwärmung der Luft durch den alles durchdringenden Staub in jenen Gegenden, heran. Es wäre in solchem Falle sehr lehrreich, die Angaben der Luft- und Bodentemperatur durch Bestimmungen der Bodenart ergänzt zu finden, die sehr wichtige Aufschlüsse über die Wärmeleitungsfähigkeit der verschiedenen Bodenarten geben dürften. Solche finden wir den wertvollen Angaben hinzugefügt, die Walther teils aus eigener Beobachtung, teils aus in seinem Auftrage geschehenen Messungen mitteilt.

Walther[33]) hat seine diesbezüglichen Beobachtungen in Transkaspien an einem etwa 10 m hohen isolierten Hügel im Osten der Station Pewewal ausgeführt. Er beobachtete von früh 5 Uhr bis abends 10 Uhr am 25. September 1897 stündlich die Temperatur der Luft des Sandes, des Lößbodens und eines olivbraunen Dolomits. Um 5 Uhr morgens waren alle vier Werte beinahe gleich, dann aber überstiegen die Temperaturen von Sand, Löß und Fels die Lufttemperatur, und zwischen 2 bis 3 Uhr war das Verhältnis folgendes:

[30]) Rudzki, Ref. P. M. 1897. L.-B. 124. S. 39.
[31]) Harding, I. of the R. Geogr. Soc. 1877. S. 252.
[32]) Futterer, Durch Asien. Bd. III. Lief. III. S. 58—61.
[33]) Walther, Ges. d. Wüst. S. 26—28.

| | |
|---|---|
| Luft | 33° C |
| Löß | 46° C |
| Sand | 48° C |
| Fels | 49° C |

Nach Walther wird die Bodentemperatur nicht nur bei Sonnenuntergang erniedrigt, es bringt auch der Wind eine lebhafte Abkühlung hervor, die in vielen Fällen beobachtet werden konnte.

Das vorhandene Beobachtungsmaterial gestattet jedenfalls nicht, irgendwelche weitgehenden Folgerungen zu ziehen, daher müssen wir uns mit diesem Hinweis auf die Einzelerscheinungen begnügen.

## Luftzirkulation.

Der Ausspruch Supans „die Winde sind die Träger des Klimas“ [34]) ist wohl nirgends besser anwendbar als in bezug auf die Wüsten, deren klimatische Verhältnisse zum größten Teil durch Gesetze der Luftzirkulation geregelt werden. Denn wenn auch die direkte Ursache der Vegetationslosigkeit der Wüstengebiete ihre Regenarmut ist, so ist diese doch zum großen Teil eine Wirkung der durch verschiedene Faktoren bedingten Trockenheit der herrschenden Luftströmungen. Es sei im folgenden eine kurze Übersicht über die Windverhältnisse in den einzelnen Wüstengebieten gegeben:

Sahara. Heute sind die Zeiten vorbei, wo Peschel den ganzen nordwest-afrikanisch-asiatischen Wüstengürtel auf die Wirkung des Passats zurückführte und Grisebach die Sahara als das Gebiet der ungehemmt herrschenden Passatströmung bezeichnete. Heute ist es erwiesen, daß das asiatische Wüstengebiet mit dem nordafrikanischen nicht einheitlich zusammenhängt. Auch haben neuere Forschungen gezeigt, daß durch zyklonale und antizyklonale Luftbewegung bedingte Winde in der Sahara ebensolche Vermittler der Trockenheit sind wie der nordöstliche Passat.

Die zahlreichen Beobachtungen der Windrichtung in der Sahara, die von Forschern wie Nachtigal, Rohlfs u. a. während ihres Aufenthaltes in der Wüste gemacht wurden, hat Schirmer in so mustergültiger Weise zusammengestellt und zu einem Gesamtbilde der Luftzirkulation der Sahara vereinigt, daß ich mich darauf beschränken möchte, auf seine ausführlichen Darlegungen zu verweisen [35]) und hier nur in knapper Form die Hauptzüge der saharischen Windverteilung mit Berücksichtigung der neueren, Schirmer noch nicht vorliegenden Beobachtungen von Foureau, [36]) wiederzugeben. Die Windverhältnisse der Sahara wären ungefähr folgende:

---

[34]) Supan, Statistik der unteren Luftströmungen. 1881. S. 1.
[35]) Schirmer, Le Sahara. S. 24—69.
[36]) Foureau, Doc. Sc. S. 80/81.

Im Winter nimmt ein Hochdruckgebiet, durch Kalmen und schwache Winde charakterisiert, den Norden und bisweilen die Mitte der Wüste ein. Ein regelmäßiger Nordwind weht von diesem Maximum nach Süden zur südlichen Sahara und zum Sudan. Das Vorherrschen dieses Windes wird durch die neuesten Beobachtungen von Foureau bestätigt. Ein anderes Maximum bildet sich im Winter auf dem Plateau von Oran, von ihm stammen Nordwestwinde in der algerischen Sahara, Nordwinde in der westlichen Sahara.

Nach Foureau weht in Zinder der Nordostpassat regelmäßig im November und Dezember. .Die Nordgrenze des regelmäßigen Passats lag im Oktober 1899 bei 16° 3 n. Breite, von da wehte er regelmäßig bis Kussri (20. März). Südlich vom 12. Breitegrad kam die „Mission Saharienne" in eine Zone unstetiger Winde, aber weiter im Süden war vom Juni ab die Herrschaft des Südostwindes ausgesprochen. Folglich haben die Beobachtungen Foureaus ergeben, daß der Südostpassat auf dem afrikanischen Kontinent bis 12° vordringt, jedoch nicht ausschließlich, sondern im Kampfe mit dem Südwestpassat.

Im Sommer ist das ganze nördliche Afrika ein Tiefdruckgebiet, dessen Minimum zwischen Sudan und der südlichen Wüste schwankt. Da nun der Luftdruck auf dem Mittelmeer höher ist als in der Wüste, haben wir an der Küste Nordwinde, in der westlichen Sahara Nordwestwinde, im Süden Südwestwinde, am oberen Nil Südostwinde.

Wir sehen also: die große Kontinentalmasse der Sahara steht nicht unter dem ausschließlichen Einflusse des Passats, sondern sie läßt ihn nur dort bestehen, wo er mit den Monsunwinden, die sie erzeugt, verschmilzt. Der Passat erhält dann um so mehr Kraft und Konstanz, wie dies in der südlichen Sahara der Fall ist. Hat der Passat eine den übrigen Winden entgegengesetzte Richtung, so wird er durch dieselben von seinem Wege abgelenkt, und so werden große Teile der Wüste seinem Einflusse entzogen.

Arabien und Persien. Über die Windverhältnisse dieser Länder sind wir sehr wenig unterrichtet.

Das im Sommer in Westasien lagernde barometrische Minimum ruft Nordwestwinde hervor, die Arabien und Persien überwehen.

Im Nefud sollen fast ausschließlich Westwinde vorherrschen.[37]) Im Winter walten die von der winterlichen Antizyklone herstammenden Nordostwinde vor.

Außerdem liegen Arabien und Persien im Bereiche des Südwestmonsuns. Alle Regen kommen von diesem Wind, der seine vorgeschriebene

---

[37]) Reclus, N. Geogr. Univ. IX. S. 858.

Richtung ändert und nach Südosten umbiegt, um, wie Reclus meint,[38]) den persischen und arabischen Golf im Sinne ihrer großen Achse zu durchschneiden. Daß die Trockenheit dieser Winde in den arabischen und persischen Wüsten durch die Randgebirge bedingt ist, ist bereits erwähnt worden.

Indische Wüste. Da Nordindien nicht mehr unter der Herrschaft des Passates steht, sondern die Monsune dort zu wehen beginnen, so hat man sich die dort herrschende Trockenheit nicht erklären können.

Schlagintweit[39]) behauptete, daß in Cutch im größten Teil des Sommers Nordwestwinde wehen, faßte das aber als eine lokale Erscheinung auf, veranlaßt durch die Aspiration aus Afghanistan und fragte, wie bei gleich ebenem Niveau im Gangesdelta tropischer Wald und in Sind Wüste habe entstehen können.

Durch die von den englischen Behörden unternommenen meteorologischen Beobachtungen, besonders aber durch die grundlegenden Untersuchungen von Blanford, ist heute der allgemeine Verlauf der atmosphärischen Zirkulation in Nordindien festgestellt. Nordindien hat keinen eigentlichen Nordostmonsun, da es nach Norden völlig abgeschlossen ist. Blanford[40]) spricht zwar von einem Nordostwind, der nur im Dezember im unteren Sind weht, Grisebach[41]) von Nordostwinden, die passatischen Charakter haben und daher Regenlosigkeit verursachen. Doch aus den Berichten der Indian Meteorological Memoirs, sowie aus Hanns Handbuch der Klimatologie entnehme ich, daß in Nordindien der Wintermonsun in Gestalt schwacher Nord-, Nordwest- und Westwinde auftritt.[42])

Anders liegen die Verhältnisse im Sommer. Im März bildet sich bei zunehmender Wärme im nördlichen Indien ein Tiefdruckgebiet, das sich immer mehr ausdehnt. Im Mai umfaßt die Isobare von 752 mm das Pendschab, die nordwestliche Wüste, die Zentralprovinzen und die westliche Hälfte von Hindostan,[43]) über dieses Gebiet niederen Luftdruckes streichen im März, April, Mai, in besonders trockenen Jahren auch im Juni und Juli die heißen Norwestwinde. Außerdem treten stetige Ost- und Südostwinde auf, die etwas Feuchtigkeit bringen und die Temperatur um einige Grade herabsetzen. Die östlichen Winde sind, wie schon Hann hervorgehoben hat,[44]) wenn auch von großer Bedeutung für die nordwestlichen Wüstenländer, doch nur „ein kleiner Wirbel" in dem

[38]) Reclus, N. Geogr. Univ. IX. S. 858.
[39]) Schlagintweit, Reisen in Indien. I. S. 414.
[40]) Blanford, The Climates and Weather of India. S. 135.
[41]) Grisebach, Veget. d. Erde. II. S. 98.
[42]) Hann, Handb. d. Klimat. Bd. II. S. 180.
[43]) Niemeyer, Die heißen Winde der Wüstengebiete. S. 16.
[44]) Hann, Handb. d. Klim. II. S. 184/85.

mächtigen Südweststrom, welcher sich über Südasien im Sommer in Bewegung setzt.

Die Lage der Wüstenländer Sind und Rajputana auf der Süd- und Ostseite des Luftdruckminimums im südlichen Pendschab bedingt die vorherrschend westliche und nordwestliche Richtung der Winde, die also vornehmlich Landwinde sind. Nach Blanford[45]) wehen von April bis September starke Westsüdwestwinde. Ihre Trockenheit beweist, daß sie nur zum Teil Seewinde sind und von den trockenen Hochländern Belutschistans stammen. Köppen[46]) hat gezeigt, daß der Unterwind fast West ist, der Oberwind in der Höhe der Wolken aber aus einem um einige Striche weiter nach rechts liegenden Punkte kommt, und daran die Behauptung geknüpft, daß die Ursache der Trockenheit Nordwestindiens in dem kontinentalen Ursprung der Luftströmung oberhalb des Niveaus von 1000 m zu suchen ist. In Übereinstimmung mit dieser Anschauung sind die Beobachtungen von Hill über die Winde in Allahabad. Seine Besprechung der dortigen Windverhältnisse zeigt, daß im Sommer die westlichen Winde eine geringere südliche Komponente besitzen von 5—$8^h$ a. m., also ehe die heißen täglichen Winde zu wehen beginnen, und daß nach dieser Stunde der Wind immer stetiger wird und nordwestliche Richtung annimmt.

Transkaspische Wüsten. In Transkaspien finden wir den kontinentalen Typus des Luftdruckes ausgeprägt: hoher Luftdruck im Winter, niedriger im Sommer.

Nach v. Schwarz[47]) lagert während des ganzen Sommers über Turan ein beständiges Auflockerungsgebiet mit niedrigem Luftdruck, der von der zufälligen Windrichtung unbeeinflußt bleibt.

Im Sommer ist der vorherrschende Wind ein nach Ost abgelenkter Nordwind, Ende Oktober setzt der Südwind, im Februar der Nordnordostwind ein.[48]) Im Winter wird das Wüstengebiet auch von westlichen und südwestlichen Winden überweht, die als Regenbringer von entscheidender Wichtigkeit sind.

Zentralasiatische Wüsten. Den allgemeinen Verlauf der Luftzirkulation in Zentralasien hat Ferdinand von Richthofen mit folgenden Worten treffend gekennzeichnet: [49]) „Die besonderen Luftströmungen, die das ausgedehnte Binnenlandgebiet durch die großen Extreme der Temperatur seines Bodens im Sommer und im Winter erzeugt, sind von

---

[45]) Blanford, The Clim. and Weath. of India. S. 135.
[46]) Brückner, Ref. M. Z. 1888. S. 146.
[47]) v. Schwarz, Turkestan. S. 578.
[48]) Walther, Verh. G. f. E. 1898. S. 68.
[49]) v. Richthofen, China. I. S. 86.

solcher Bedeutung, daß sie im Konflikt mit den allgemeinen planetarischen Strömungen die Oberhand behalten und in einer Reinheit zur Geltung gelangen, wie kaum in einem anderen Teil der Erde."

In einem Gebiete, wo örtliche, besonders orographische Einflüsse in solcher Menge störend auftreten wie in Zentralasien, wird sich die normale Windrichtung schwerlich immer erkennen lassen, und eine Besprechung der Windverhältnisse Zentralasiens wird nur ein schematisches Bild liefern.

Es ist das Verdienst Wojeikoffs, das von russischen Forschungsreisenden, besonders Przewalski, gesammelte meteorologische Material gesichtet, bearbeitet und durch Übertragung der Resultate ins Deutsche unserem Verständnis zugänglich gemacht zu haben.[50])

Im Winter strömt die Luft von der großen asiatischen Antizyklone aus. Sie sendet die herrschenden Winde aus, die ganz Westturkestan als kalte Nordostwinde überwehen. Die Nordostrichtung dieses winterlichen Monsuns, der in der Luktschunsenke, der Region stärksten winterlichen Luftdruckes, seinen Ursprung hat, sowie seine fast passatische Konstanz, war die Ursache davon, daß er mit dem Nordostpassat verwechselt wurde.

Das Verhältnis zwischen den stetigen Nordostwinden und den für den Winter charakteristischen, entschieden vorwaltenden West- und Nordwestwinden scheint das der räumlichen, d. h. vertikalen Aufeinanderfolge zu sein. So stellte Futterer[51]) auf seiner Wanderung durch den Pe-schan fest, daß in hohen Wolkenregionen ausschließlich Westwinde wehen, während an der Erdoberfläche Ost- und Nordostwinde vorherrschen. Es soll, nach Wojeikoff, wahrscheinlich sein, daß auch in den Wüsten Ostturkestans die Westwinde vorwalten. Hedins Beobachtungen ergeben, daß in der Tschertschen-Wüste beständige Ostnordostwinde, in der Lop-Wüste Nordost- bis Nordnordostwinde, in der Takla Makan unbeständige Winde wehen. Bogdanowitsch[52]) stellte fest, daß in Kaschgarien zwei Luftströmungen zu starker Entwickelung gelangen, nämlich eine obere zentrifugale, zu der die Nordostwinde, und eine untere zentripetale, zu der die Nordwestwinde gehören. Diese Aufeinanderfolge widerspricht so sehr den allgemeinen Verhältnissen, daß ihre Tatsächlichkeit zweifelhaft erscheinen muß.

Im Sommer ist das ganze Innerasien ein Tiefdruckgebiet, dessen Minimum wahrscheinlich in der Takla Makan, der Region größter Sommerhitze, zu finden ist.[53]) Die orographischen Verhältnisse Asiens schaffen

---

[50]) Wojeikoff, Ö. M. Z. 1877. M. Z. 1896. M. Z. 1900.
[51]) Futterer, P. M. 1903. Erg.-Bd. 30. S. 33.
[52]) Bogdanowitsch, P. M. 1892. S. 54.
[53]) Wojeikoff, M. Z. 1896. S. 97.

nun aus der einen großen Zyklone eine Reihe von Zyklonenfragmenten, deren jedes die Luft von allen Seiten anzieht und dadurch das Bild der allgemeinen Luftbewegung zu einem sehr verwickelten gestaltet. Daraus ergibt sich, daß die vorherrschende Windrichtung des Sommers die südliche und südöstliche ist. In der östlichen Mongolei, in Ala-schan und Ordos sowie im östlichen Nan-schan-Gebirge sind die Monsunverhältnisse durch schwache Südostwinde deutlich ausgeprägt. Folgende von Wojeikoff für jene Gebiete zusammengestellte allgemeine Mittel lassen das Vorherrschen der Nordwestwinde im Winter, sowie der Südostwinde im Sommer deutlich erkennen:[54])

| | N. | NO. | O. | SO. | S. | SW. | W. | NW. | Kalmen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Winter . . . | 1 | 3 | 0,5 | 4 | 0,5 | 10 | 10 | 34 | 37 |
| Frühling . . | 0 | 4 | 1 | 6 | 4 | 27 | 3 | 26 | 29 |
| Sommer . . | 0,5 | 6 | 0,5 | 24 | 2 | 15 | 4 | 13 | 35 |
| Herbst . . . | 0 | 4 | 0 | 15 | 0 | 12 | 0 | 20 | 49 |

Nordamerikanische Wüsten. Die Permanenz, welche der asiatischen Winterantizyklone eigen ist, finden wir nicht in demselben Maße im nordamerikanischen Hochdruckgebiete ausgeprägt, daher gestalten sich hier die Verhältnisse anders.

Bei der Verschiedenheit der Höhe und den zahlreichen Gebirgen ist die Windrichtung natürlich stark lokal beeinflußt.

Im Great Basin und im Coloradogebiet wehen fast den ganzen Winter hindurch trockene, kalte Nordwestwinde. Im Sommer aber zieht das sich dort bildende barometrische Minimum von Ost und West her Landwinde an. Die Südostwinde geben ihre Feuchtigkeit an die Rocky Mountains ab, die Südwestwinde kommen mit Wasserdampf gesättigt an, den sie auf den westlichen Abhängen der kalifornischen Küstenkette und Sierra Nevada absetzen. Als heiße, trockene, föhnartige Winde erreichen sie die inneren Hochflächen. Die Windverhältnisse der Gila- und Mohave-Wüste hingegen sind vornehmlich abhängig von der subtropischen Antizyklone, die hart an der Küste liegt. Die Trockenheit dieser Seewinde ist erstens durch ihre herabsteigende Bewegung bedingt, ferner durch den Umstand, daß sie nur eine schmale Zone kalten Wassers zu überwehen haben, um zur Küste zu gelangen.[55])

Australische Wüsten. Der kleine Kontinent Australien, der eine einheitliche barometrische Provinz darstellt, greift störend in den allgemeinen Gang des Luftdruckes ein.

[54]) Wojeikoff, Ö. M. Z. 1877. S. 380.
[55]) Supan, Gr. d. ph. Erdk. S. 128.

Besonders wird der Südostpassat von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt.[56]) An der Ostküste wird er im Sommer zu einem Ost-, selbst Nordostwind, an der Westküste zum West- und Südwestwind. Im Winter wird er im Kontinent nach Norden verschoben, im Sommer rückt er nach Süden und wird im Norden von Nordwestwinden abgelöst. Diese Nordwestwinde sind aber nichts anderes als die durch die Erdrotation von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkten Nordostpassate, die im ganzen Indischen Ozean und in der westlichen Südsee bis ungefähr 10° südlicher Breite und in Australien noch weiter vordringen und in den im Malaiischen Archipel und Australien so benannten Nordwest- oder Australmonsun verwandelt werden.[57])

Schirmer[58]) hat den außerordentlichen Parallelismus zwischen den Luftdruckverhältnissen der Sahara und Inneraustraliens betont. Hier wie dort bildet im Sommer das glühende Festland ein barometrisches Minimum, dem von allen Seiten Luftströmungen zufließen. Im Winter entsteht ein barometrisches Maximum in Südaustralien, das wir in der Sahara durchaus symmetrisch, seiner Lage auf der nördlichen Hemisphäre entsprechend, im Norden der Wüste finden.

Nach Supan[59]) sind von West nach Ost wandernde Antizyklonen, mit wenig ausgedehnten V-förmigen Depressionen dazwischen, für Australien geradezu Regel.

Die im Winter von den Antizyklonen ausgehenden Winde sind trocken als absteigende Luftströmungen. Die von der Sommerzyklone angezogenen Winde sind aber auch trocken, weil sie vom kälteren Meere kommen.

Atacama-Wüste. Man hat immer mit Rücksicht auf die außergewöhnliche Trockenheit der Atacama die kalte Meeresströmung an ihrer Küste zu Rate gezogen. Doch ist dieselbe nur ein sekundärer Faktor. Die Hauptschuld trägt dieses Mal wieder der Passat, der, vom Atlantischen Ozean kommend, sich östlich von den Anden kondensiert. Ehe er die hohe Gebirgsmauer übersteigt, ist er trocken.

Nach Darapski,[60]) der sich längere Zeit in jenem Gebiete aufgehalten hat, gestalten sich die Jahreszeiten in der Atacama folgendermaßen: Im Südwinter bilden sich infolge der zunehmenden Abkühlung mehrere Antizyklonen aus, eine im Westen, eine oder mehrere im Osten. Dann setzen die westlichen oder nordwestlichen Schneestürme ein, die in

[56]) Lespagnol, Ann. d. Geogr. 1898. S. 154.
[57]) Supan, Gr. d. ph. E. S. 105.
[58]) Schirmer, Le Sahara. S. 59/60.
[59]) Supan, Gr. d. ph. E. S. 105.
[60]) Darapski, Taltal. S. 105/106.

Intervallen und meist nur auf den Höhen wehen. Die Ruhezeiten sind durch Kalmen charakterisiert. Im Südsommer ist es das barometrische Minimum auf der Ostseite der Anden, welches auf den Passat aspirierend wirkt. Es ist vorläufig noch nicht ganz klar, welche Ursachen den heftigen winterlichen Weststürmen zugrunde liegen, die von allen, welche jenen Teil der Anden überstiegen haben, beobachtet wurden. Darapski hält sie für Oberströmungen der Atmosphäre, die dem absteigenden Gegenpassat entsprechen. Sie vereinigen sich mit den vom Meere kommenden, doch durch Aufsteigen an den kahlen Küstenhängen bereits ihrer Feuchtigkeit ledigen Südwestwinden.

Südwestafrikanische Wüsten. Die gesamte Windverteilung Südafrikas ist von den beiden Hochdruckgebieten über dem Südatlantischen und Südindischen Ozean abhängig.

Die Winde, die von der permanenten Antizyklone im Westen von Afrika ausgehen, sind trockene Winde, da sie nur einen schmalen Streifen Meeres zu überschreiten haben, ehe sie an die südwestafrikanische Küste gelangen. Die von der östlichen Antizyklone stammenden Winde sind dagegen feuchter, da sie eine große Strecke des Ozeans überweht haben. Es liegt, wie wir bereits an anderer Stelle sahen, in dem orographischen Bau Südafrikas begründet, daß auch sie trocken oder fast trocken im Inneren ankommen. Das südindische Maximum greift auch aufs Land über und umfaßt Basutoland sowie die südliche Kalahari.[61]) Über die Luftdruckverhältnisse des inneren Südafrika im Südsommer haben Doves[62]) Forschungen wichtige Aufklärungen gebracht. Sie haben gezeigt, daß die Gegend größter Erwärmung keineswegs das Innere von Südafrika ist, sondern vielmehr das Hitzemaximum vom Oktober bis März über der Namib und deren östlicher Umgebung lagert. Die Breite dieses sich in der Richtung der Küstenlinie erstreckenden Gebietes beträgt etwa 100 km.

Gürich[63]) hat Deutsch-Südwestafrika in zwei klimatische Provinzen geteilt: 1. Dünengürtel der Küste, 2. Plateaulandschaften des Innern; dazwischen ist ein Übergangsgebiet, dem die Namib angehört.

Erstere Region steht vollständig unter der Herrschaft der fast das ganze Jahr hindurch konstant wehenden, im Sommer besonders heftigen Südwestwinde, deren Trockenheit auf den noch zu besprechenden Einfluß der kalten Meeresströmung an der Südwestküste Afrikas zurückzuführen ist. Im Innern treten Nord- und Nordostwinde auf, die als Regenbringer gelten, während in dem Übergangsgebiet veränderliche Winde wehen.

---

[61]) Passarge, Die Kalahari. S. 88.
[62]) Dove, P. M. 1896/97. Erg.-Bd. XXVI. S. 18—20.
[63]) Gürich, Verh. Hamb. G. f. E. 1892. S. 52, 62.

Derartige Windverhältnisse lassen sich nur durch ein im Westen und nicht in der Mitte von Südafrika lagerndes Minimum erklären, das auf der Westseite besonders den Südwestwind anzieht, auf der Ostseite aber einen Monsunwind in Bewegung setzt, der um so regelmäßiger weht, je weiter er von der Region niedrigsten Luftdruckes entfernt ist. Wie veränderlich die Windrichtung in Südwestafrika ist, ergibt sich übrigens aus den Beobachtungen Doves und Gürichs.

Nach Dove herrscht im Oktober der Südostwind, später auch der Nordwest- und Nordostwind. Im Dezember findet ein Umschwung in der Windrichtung statt, die anhaltend zur nordwest-nordöstlichen wird. Erst im April gelangt der Südostwind wieder zur Herrschaft. Die Gürichschen Winddiagramme zeigen, daß der in Walfischbai wehende Südwestwind in Rehoboth als Westwind, in Otyisewa als Südwind und in Omaruru als Süd- und Westwind auftritt.

Unsere Besprechung der Luftzirkulation in den Wüsten ergiebt, daß die dort herrschenden Winde fast ausnahmslos eine Mission zu erfüllen haben: allen Wasserdampf von den Wüsten fernzuhalten. Doch ist die Art und Weise, wie sie ans Werk gehen, eine sehr verschiedenartige.

Supan hat in seinen „Grundzügen der physischen Erdkunde" die dauernd regenarmen Gebiete der Erde, die wir mit den Wüsten identifizieren können, eingeteilt in 1. arktische Gebiete, 2. innerkontinentale Gebiete, 3. Windschattengebiete, 4. Gebiete beständiger Polarwinde (subtropische Wüsten).[64]) Neben dem großen Vorteile der Übersichtlichkeit, den eine solche Einteilung bietet, birgt sie den Nachteil, von verschiedenen zusammenwirkenden Faktoren immer nur einem gerecht zu werden. Letzteres gilt zunächst in bezug auf die von Supan in die Kategorie der passatischen Gebiete aufgenommenen subtropischen Wüsten, die ja zum großen Teil auch Windschattengebiete sind. Man könnte auch schwanken, ob die zentralasiatischen Wüsten den innerkontinentalen oder den Windschattengebieten zuzuzählen wären.

Es scheint mir, als ob fast in allen Fällen das Grundlegende doch die zyklonale beziehungsweise antizyklonale Luftbewegung wäre, welche die Windverhältnisse der Wüsten beherrscht und der gegenüber die Rolle der Passate als gering erscheint. Selbst für diejenigen Wüsten, in welchen die Herrschaft der Passate vielleicht am stärksten entwickelt ist, für die Sahara und die inneraustralischen Wüsten, ist es, wie wir sahen, das Vorhandensein von Zyklonen und Antizyklonen, welches den Verlauf der Luftströmungen regelt.

[64]) Supan, Gr. d. ph. E. S. 138.

## Luftfeuchtigkeit.

Der in der Luft vorhandene Wasserdampf, sei er kontinentaler oder maritimer Herkunft, gibt die absolute Feuchtigkeit an. Wie schon Hann in seiner Klimatologie betonte,[65]) ist sie als Ausdruck der klimatischen Feuchtigkeit unbrauchbar. Die Luft kann sehr trocken sein und doch mehr Wasserdampf enthalten als feuchte Luft, wenn die Temperatur in beiden Fällen verschieden ist. Den mittleren Dampfdruck in der mitten in der Libyschen Wüste gelegenen Oase Kufra bestimmte Rohlfs im August zu 8,3 mm, im September zu 11,1 mm, was etwa der absoluten Feuchtigkeit zu Wien und Oxford entspricht.

Wir werden daher bei Betrachtung der Luftfeuchtigkeit der Wüsten von der relativen Feuchtigkeit als ihrem unstreitig zweckmäßigsten Ausdrucke ausgehen.

Die kleinsten Werte relativer Feuchtigkeit dürfte die Sahara aufweisen, die ja in manchen Teilen ein extrem kontinentales Klima hat. Den 18. April 1869 hat Rohlfs[66]) bei Andjila 2% beobachtet. In den persischen Wüsten beträgt sie nach Khanikoff[67]) nur 11,2%, in Death Valley etwa 25%.[68]) Für die relative Feuchtigkeit in der Gobi ergab sich aus den Beobachtungen von Futterer[69]) der Mittelwert 28%. Die Abweichungen, die den täglichen Gang der relativen Feuchtigkeit in der Gobi von dem sonst beobachteten unterscheiden, bestehen darin, daß das Tagesmaximum der relativen Feuchtigkeit anstatt morgens am Abend stattfindet, was in dem raschen Ansteigen der Morgentemperatur und dem raschen Sinken der Abendtemperatur begründet ist.

Ein Vergleich der Kurven relativer Feuchtigkeit mit den Temperaturkurven für die Wüstengebiete führt uns die Abhängigkeit dieser beiden klimatischen Elemente voneinander deutlich vors Auge. Mit dem Maximum der Temperatur geht meistens das Minimum der relativen Feuchtigkeit Hand in Hand. In der Sahara (Ghardaia) fallen beide im Juli zusammen, in den anderen Wüsten sind sie höchstens durch einen Abstand von zwei Monaten voneinander getrennt. So tritt das Minimum der relativen Feuchtigkeit in Alice Springs im Mai, also zwei Monate vor dem im Juli stattfindenden Temperaturmaximum, ein, das von Bickaneer im April, bei Temperaturmaximum im Juni. Trotzdem in Turan die absolute Feuchtigkeit im Sommer am größten ist, fällt doch wegen der hohen Sommertemperatur das Minimum relativer Feuchtigkeit in diese Jahreszeit.

---

[65]) Hann, Handb. d. Klim. Bd. I. S. 52.
[66]) Schirmer, Le Sahara. S. 63.
[67]) Reclus, N. Geogr. Univ. IX. S. 179.
[68]) Hann, M. Z. 1893. S. 21.
[69]) Futterer, Durch Asien. Bd. III. S. 38.

Daß der relative Feuchtigkeitsgehalt von der Meeresferne nicht abhängt, sondern einzig und allein durch die Kontinentalität des Klimas bestimmt wird, zeigt das Verhältnis der relativen Feuchtigkeit in den Küstenwüsten und dem im Herzen des Kontinents gelegenen Wüsten Transkaspiens. Petro Alexandrowsk weist ein höheres Durchschnittsmaß relativer Feuchtigkeit auf als wie Windhoek oder verschiedene Orte der Atacama.

Nach Darapski [70]) nimmt die Trockenheit in der Atacama nach dem Gebirge hin zu, doch sind die Werte relativer Feuchtigkeit innerhalb des Gebirges sehr schwankend. In Antofagasta de la Sierra wurde an warmen Sommertagen 24,5 %, in Potrero Grande 21 % beobachtet. Darapski macht auf die von ihm oft beobachtete Erscheinung aufmerksam, daß eintretender Wind meist eine raschere Sättigung der Luft zur Folge hat, was auf den maritimen Ursprung des Windes schließen läßt. Die relative Feuchtigkeit in Ingenio Mercedes betrug wiederholt 13%, in der Officinia sudamericana an windstillen Wintertagen nur 7 %. Der erste Windhauch ließ sie aber gleich bis 30—40 % steigen.

In Australien nimmt die relative Feuchtigkeit von der Küste nach dem Innern stark ab. Ihr Mittelwert in Alice Springs ist 43 %. In der heißen Jahreszeit schwankte sie in den zentralen Depressionen zwischen 20 und 30 %.[71])

## Bewölkung.

Wenn Dove in seinen „Meteorologischen Untersuchungen" sagt: „die bald entstehenden, bald vergehenden Wolken sind im allgemeinen ein auf den Himmel projiziertes Bild des Bodens",[72]) so ist das in der Mehrzahl der Fälle für den Wüstenboden zutreffend, da klarer, wolkenloser Himmel eine charakteristische Begleiterscheinung des Wüstenklimas ist.

Im allgemeinen gibt die Bewölkung ein Maß ab für die Trockenheit des Landes, doch sind über ihren Gang in den Wüstenländern noch zu wenig Beobachtungen gemacht worden, als daß eine eingehende Besprechung dieses klimatischen Elementes möglich wäre.

Bekannt ist die Reinheit des Himmels in der Sahara. Fromentin, dessen künstlerischem Schauen wir so viele reiche Schilderungen der saharischen Landschaft verdanken, spricht von einem reinen „Kobaltblau" des Himmels.[73]) Und selbst wenn eine Regenwolke erscheint, so zieht sie vorüber, ohne daß ein Tropfen zur Erde herabkommt, denn die Hitze der unteren Luftschichten läßt den Regen unterwegs verdunsten.

---

[70]) Darapski, Taltal. S. 106/107.
[71]) Lespagnol, Ann. de Géogr. 1898. S. 158.
[72]) Dove, Meteorologische Untersuchungen. S. 72.
[73]) Fromentin, Un été dans le Sahara. Paris.

Sehr schwach ist die Bewölkung auch in Inneraustralien. Von 5,4 in Sydney sinkt sie zu 2,3 in Bourke und 2,5 in Milparinka herab.[74]) Aus den Beobachtungen Doves[75]) in Windhoek von Oktober bis April ergibt sich als Maximum das Januarmittel 7,3, als Minimum das Aprilmittel 2, das in den Sommermonaten sich noch verringern dürfte. In Bickaneer (indische Wüste) ist die Bewölkung am kleinsten im Frühling und Herbst, am größten in den Sommermonaten.[76])

Unverkennbar ist der Einfluß der Bewölkung auf den täglichen Gang der Temperatur. Dadurch, daß sie die Insolation sowie die Ausstrahlung vermindert, bewirkt zunehmende Bewölkung ein Abnehmen der Tagesschwankung der Temperatur. So hat Przewalski in Ordos im Juli und August eine bedeutende Wärmeschwankung beobachtet, die in der zweiten Hälfte des August bei zunehmender Bewölkung geringer wurde.[77])

Fast in allen Wüsten sehen wir die Maxima der Bewölkung mit denen der relativen Feuchtigkeit Hand in Hand gehen. Dies ist für die Wüsten Südwestafrikas, Nordamerikas, Indiens und Transkaspiens der Fall, wie es ja auch ein Vergleich der entsprechenden Kurven ergibt. Nur in Zentralasien liegen die Verhältnisse anders. Es herrscht dort nach Wojeikoff[78]) große Bewölkung bei sehr trockener Luft. Während in der Ebene von Turkestan die höchsten Werte der relativen Feuchtigkeit und Bewölkung in dieselbe Zeit fallen, nimmt in den zentralasiatischen Hochflächen die Bewölkung Anfang oder Mitte Winter bis zum April zu, bei stetiger Abnahme der relativen Feuchtigkeit. Es hat dieses abweichende Verhalten bis jetzt noch keine Erklärung gefunden.

## Kondensation des Wasserdampfes.

Die relative Feuchtigkeit sowie die Bewölkung sind zur Kennzeichnung der Wasserversorgung der Wüstengebiete sehr unzulänglich, da es noch anderer Momente bedarf, um den in der Luft enthaltenen oder zu Wolken verdichteten Wasserdampf als Regen niederfallen zu lassen. Dies führt uns zur Würdigung der Wichtigkeit der Kondensationsbedingungen des Wasserdampfes. Vorbedingungen für die Kondensation sind gegeben:

1. Durch Zyklonenbildung. Loomis[79]) hat in seiner grundlegenden Abhandlung über die Regenverhältnisse der Erde als eines der Kennzeichen regenarmer Gebiete hervorgehoben, daß sie nicht auf Zyklonenbahnen liegen. So hat die östliche Sahara einen ausgeprägteren Wüsten-

[74]) Lespagnol, Ann. de Géogr. 1898. S. 157.
[75]) Dove, P. M. 1896/97. S. 38.
[76]) Blanford, Clim. and W. of India. S. 304.
[77]) Wojeikoff, Ö. M. Z. 1877. S. 373.
[78]) Wojeikoff, M. Z. 1896. S. 99.
[79]) Loomis, Contributions to Meteorology. Nat. Ac. of Sc. Vol. V. S. 57.

charakter als die westliche Sahara, trotzdem die Luft vielleicht hinter den Mauern des Atlas trockener ist.[80]) Denn infolge der vorbeiziehenden Zyklonen sind die Kondensationsbedingungen im Westen günstiger. Ein ähnliches Beispiel liefert die indische Wüste. Es fällt nach Blanford[81]) oft jahrelang kein Regen in Sind, wenn nicht eine Zyklone vorbeizieht und Kondensation der Luftfeuchtigkeit bewirkt.

2. Durch Vermischung von Luftmassen verschiedener Temperatur. Nach Schenck[82]) sind im südwestafrikanischen Wüstengebiet die Winterregen bei Südwest auf das Zusammenstoßen des kalten Südwest mit dem warmen Nordost und der daraus folgenden Abkühlung des letzteren zurückzuführen.

3. Durch aufsteigende Luftbewegung innerhalb einer Zyklone oder an orographischen Hindernissen, welche Luftströmungen zum Aufsteigen veranlassen, was selbst relativ trockenen Winden einen gewissen Feuchtigkeitsgrad verleiht und sie zu Regenbringern macht. Auf letztere Ursache hier näher einzugehen, wäre eine Wiederholung des anläßlich der Rolle der Gebirge in der Wüste Gesagten.

Kondensationsbedingungen werden entzogen durch Polarströmungen oder durch kaltes Küstenwasser. Es gehen die Ansichten darüber auseinander, ob das an den Westküsten Südafrikas, Südamerikas und auch an anderen Küsten auftretende kalte Wasser Polarströmungen zuzuschreiben oder als kaltes Auftriebwasser aufzufassen ist. Doch wie auch die endgültige Entscheidung ausfallen möge, die Wirkung des kalten Meerwassers bleibt nach wie vor bestehen. Verschiedene Forscher haben das Klima der Küstenwüsten Südafrikas und Südamerikas geradezu als Funktion der kalten Strömungen bezeichnet, die ihre Küsten begleiten. Unsere Betrachtungen der allgemeinen Luftzirkulation in den Wüsten zeigte, daß die Windverteilung in erster Linie Ursache der Wüstenhaftigkeit jener Küsten ist. Nichtsdestoweniger ist der Einfluß des kalten Meerwassers unverkennbar, welches diesen Küstenländern so jedwede Kondensationsbedingung fortnimmt, daß, wie Supan sagt, „diese Landstriche im Angesicht des Ozeans verdursten".[83])

Interessant ist in dieser Hinsicht ein Vergleich der Westküsten der drei Südkontinente. Die Meeresströmung im Südwesten von Australien, die von Süden kommt und die Küste etwa bis zum Wendekreis begleitet, ist nicht kalt; daher werden die Winde, die über sie hinwegstreichen, nicht abgekühlt und der westaustralischen Küste die Kondensations-

[80]) Schirmer, Le Sahara. S. 92.
[81]) Blanford, S. 134.
[82]) Cit. Passarge, Die Kalahari. S. 88.
[83]) Supan, Gr. d. ph. E. 3. Aufl. 1903. S. 151.

bedingungen nicht entzogen, deren Fehlen den Wüstencharakter der südwestafrikanischen und südamerikanischen Küste zu erhöhen beiträgt. Schirmer[84]) hat das kalte Küstenwasser, das an der Nordwestküste Afrikas auftritt, gleichfalls als sekundäre Ursache der Trockenheit der Sahara bezeichnet, und eine gleiche Wirkung dürfte das kalte Wasser haben, das die kalifornische Küste umspült. Es ist noch strittig, ob die schon erwähnte auffallende Trockenheit Patagoniens nicht auch auf dem Auftreten von kaltem Auftriebwasser beruht.

Supan[85]) hat, um die Regenmöglichkeit auf der Erdoberfläche zu charakterisieren, die Formel aufgestellt: $(L + M)\ K = R$, wobei L den kontinentalen, M den maritimen Wasserdampf, K die Kodensationsbedingungen und R den Regen ausdrückt. Da nun die Regenmenge in den Wüsten gleich oder nahezu gleich o ist, so muß entweder $K = o$ sein oder $L + M = o$ sein. In letzterem Falle können entweder beide Glieder L und M gleich o sein oder nur eines davon und das andere unbedeutend genug, um übergangen zu werden. Ersteres ist der Fall bei den Küstenwüsten Südafrikas und Südamerikas, wo die relative Feuchtigkeit ziemlich hoch ist. Da in denselben $MK = o$ ist, so muß $K = o$ sein, wie dies ja auch durch den Einfluß der kalten Meeresströmung genügend erklärt ist. Folgende Variation der Supanschen Formel ist für die Verhältnisse in Turan und Zentralasien charakteristisch. Beide Gebiete sind vom Meere entfernt. In Turan erzeugen nun die großen Seeflächen im Sommer Wasserdampf, und doch ist $LK = o$, da die stetigen nördlichen Winde kondensationsfeindlich dazwischentreten; im Winter ist aber infolge der geringen Verdunstung $L = o$, so daß auch in dieser Jahrezeit die Regen nur in kleinen Mengen vorkommen.

In Zentralasien wird es nur dort zu Regen kommen, wo die Monsune Wasserdampf herbeiführen, wie in der östlichen Mongolei, da die Kondensationsbedingungen im Sommer günstiger sind. Der Faktor L kommt ja für Zentralasien weniger in Betracht; nur dort, wo große Pappelwälder und Felder den Wasserdampf aufspeichern, wie in den westlichen Teilen Ostturkestans, spielt der Landwasserdampf eine wichtige Rolle. Nach Hedin[86]) wird die zentrale Wüste Takla Makan von einem breiten Gürtel von Pappelwäldern umgeben, die durch unterirdische Gebirgsbäche Nahrung erhalten. Der Wasserdampf, den sie liefern, wird von den Nordwinden fortgeführt, und die ihm in den Weg tretenden Abhänge des Kwenlun bewirken seine Verdichtung zu Regen. So er-

[84]) Schirmer, Le Sahara. S. 77.
[85]) Supan, P. M. Erg.-Bd. 124. S. 30—32.
[86]) Hedin, P. M. 1900. S. 264—268.

klärt es sich, nach Wojeikoff,[87]) daß Ostturkestan in seinen östlichen Teilen, die Felder und Wälder entbehren, weit trockener ist als in seinen westlichen Teilen.

## Niederschläge.

Die Übereinstimmung der Wüsten mit den dauernd regenarmen Gebieten der Erde ist so groß, daß der Vergleich einer Regenkarte, wie der großen Supanschen Karte der Regenverteilung,[1]) mit einer Karte der Vegetationsgebiete, ein fast absolutes Zusammenfallen der 60-mm-Grenze jahreszeitlicher Regenmenge mit den Grenzlinien der Wüsten gibt. Daß es daneben auch viele Abweichungen gibt, beruht auf der oft tiefeingreifenden Wirkung örtlicher Faktoren.

Zwei Ausdrücke sind es, die vornehmlich zur Kennzeichnung der Regenverhältnisse eines Gebietes angewandt werden: die Regenmenge, d. i. die Jahressumme der Wasserhöhe der gesamten Niederschläge in mm ausgedrückt, und die Regenhäufigkeit, d. i. die Zahl der Tage mit Niederschlägen innerhalb eines Jahres.

Auch hier stehen wir wieder vor einer Alternative: welcher von beiden Begriffen ist zur Charakteristik der Wasserversorgung der Wüstengebiete am zweckmäßigsten? Es mag die Niederschlagsmenge für Gebiete, die unter normalen klimatischen Bedingungen stehen, der wesentlichere Faktor sein, für Wüstengebiete scheint mir die Regenhäufigkeit ausschlaggebend zu sein, und dies aus folgenden Gründen. Stürzen dort, wie es die Regel ist, große Regenmassen herab, so kann ihre Menge noch so bedeutend sein, die Wirkung ist eine unbedeutende, denn in kurzer Zeit hat der durstige Boden alles aufgesaugt — trocken und leblos liegt die Wüste da, als hätte nie eine Spur von Feuchtigkeit den Weg zu ihr gefunden. Dieselbe Regenmenge, auf mehrere Wochen verteilt, würde ein ganz anderes Vegetationsbild ergeben.

Es sind von Wollny[2]) in München sehr interessante Versuche über die Beziehungen zwischen Bodenfeuchtigkeit und Niederschlägen gemacht worden. Er kam dabei zu dem Ergebnis, daß stärkere Niederschläge für den Boden wichtiger sind als häufige, die wenig nützen, weil sie zu rasch verdunsten. Doch schon Hann[3]) hat nachgewiesen, daß die kleinen häufigen Niederschläge fast immer eine weite Verbreitung haben. Dadurch wird aber eine konstant hohe Luftfeuchtigkeit erzeugt, die der Ver-

---

[87]) Wojeikoff, M. Z. 1896. S. 95.
[1]) Supan, P. M. E.-Bd. 124.
[2]) Wollny, Forsch. auf d. Gebiete d. Agrikulturphysik. XIV. 1891. S. 143.
[3]) Hann, Handb. d. Klimat. I. S. 66/67.

dunstung des Bodens entgegenwirkt. Gerade diese wichtigen Begleiterscheinungen: die konstant hohe Luftfeuchtigkeit und dauernde Bewölkung, finden aber bei Experimenten, die in einem häufigen schwachen Begießen des Bodens bestehen, keine Berücksichtigung. Dazu kommt noch, daß das Verhalten des ebenen Bodens eines Versuchszimmers gegen Niederschläge ein anderes ist, als das eines geneigten unregelmäßigen Bodens, wie er ja in der Natur meistens auftritt.[4])

Die nutzbringende Wirkung häufiger Niederschläge äußert sich also darin, daß sie den Boden langsam aufweichen und an die tieferen Schichten allmählich Wasser abgeben, während der Boden bei Platzregen hart wie eine Tenne bleibt.

Man könnte gegen die häufigen schwachen Niederschläge den Einwand erheben, daß sie nicht imstande sind, den Boden auszulaugen und schädliche Salze in das Grundwasser abzuführen, von wo dieselben in die Flüsse und in das Meer gelangen. Hilgard[5]) argumentiert folgendermaßen: in der westlichen Andenregion Nordamerikas sind die Niederschläge auf sechs Monate des Jahres verteilt, welche Zeit ja ausreicht, um eine Auslaugung des Bodens zu ermöglichen. Im nordwestlichen Indien dagegen vermögen die über das ganze Jahr verteilten Regen nicht die Salze dem Grundwasser zuzuführen, wenn nicht einer der heftigen Wolkenbrüche der heißen Jahreszeit ihnen einen Weg in die Tiefe schafft. Hilgard gibt die Grenze der jährlichen Regenhöhe, unter welcher Salzausblühungen aus dem Boden zu beobachten sind, für Kalifornien auf 500 mm an, in einzelnen Teilen Indiens soll sie noch höher sein.

Nach Rehbock[6]) fehlen Salzausblühungen im mittleren und südlichen Teil des Hererolandes trotz einer mittleren Regenhöhe von nur 400 mm. Diese Tatsache führt Rehbock, außer auf die geringe mittlere Jahrestemperatur, darauf zurück, daß die Regen nur auf etwa fünf Monate des Jahres verteilt sind und in dieser Zeit stark genug sind, um eine Fortführung der löslichen Salze in das Grundwasser zu bewerkstelligen.

Es sind diese Argumente für unsere Betrachtung nicht stichhaltig insofern, als sie sich auf aride Gebiete, aber nicht auf Wüstengebiete beziehen. Eine Verteilung der Regen auf fünf bis sechs Monate würde in der Wüste eine große Häufigkeit der Niederschläge bedeuten. Im übrigen wird eine Fortführung der Salze in Wüstengebieten durch noch so viele andere, zum Teil morphologische, zum Teil hydrographische Faktoren

---

[4]) Hann, Handb. d. Klimat. I. S. 66/67.
[5]) Hilgard, Forsch. auf d. Geb. d. Agr.-Physik. XVI.
[6]) Rehbock, Deutsch-Südwestafrika. Berlin 1898. S. 169,

erschwert, daß sie wenig bei der Frage der Regenhäufigkeit in Betracht kommt und, meines Erachtens, die bereits genannten Vorteile häufiger schwächerer Niederschläge nicht aufwiegen kann.

Ein Ausdruck, der bis jetzt wenig Beachtung gefunden, dessen Bestimmung mir aber zur Charakteristik des Wüstenklimas wesentlich erscheint, ist die Regendichtigkeit. Man erhält ihn durch Division der Regensumme eines Monats durch die Zahl der Regentage desselben. Die auf diese Weise abgeleiteten Jahresmittel der Regendichtigkeit sind für Ghardaia 2,6, für Petro Alexandrowsk 5, für Urga 6, für Bickaneer 9, für Hoachanas 4. Demnach wäre der wolkenbruchartige Charakter der Regen in der indischen Wüste besonders stark entwickelt.

Vergleichen wir die Kurven der Regenmenge, Regenhäufigkeit und Regendichtigkeit untereinander, so ergibt sich vor allem ein auffallender Parallelismus der Kurven der Regenmenge und Regendichtigkeit. Dies ist der Fall für Ghardaia, Bickaneer, Petro Alexandrowsk und erklärt sich einfach aus der Tatsache, daß eine Steigerung der Regendichtigkeit meist durch starkes Zunehmen der Regenmenge bei ungefähr gleicher Regenhäufigkeit erreicht wird. Findet, wie es in Urga der Fall ist, zugleich ein Ansteigen der Regenhäufigkeitskurve statt, so werden die Werte der Regendichtigkeit herabgesetzt, und der Verlauf ihrer Kurve entspricht nicht mehr so sehr demjenigen der Kurve der Regenmenge.

Wir hatten bereits bei Besprechung der Meereshöhe der Wüsten der Abhängigkeit der Niederschläge von derselben Erwähnung getan. Besonders in dem nordamerikanischen Wüstengebiete ist die Zunahme des Regenfalles orographisch bedingt. Die einige Jahre hindurch auf Veranlassung von Redding von der C. P. Railroad in Kalifornien und der Sierra Nevada angestellten Regenmessungen ergaben ein durchschnittliches Ansteigen der jährlichen Regenmenge um $2^1/_2$ cm für je 30 m Höhe, auf der Strecke von Sacramento bis zur Station Sumit (Scheitelpunkt der Bahn). Auf letzterer selbst beträgt die mittlere jährliche Regenmenge 230 cm, welcher Wert mit Abnahme der Meereshöhe nach Osten hin rasch sinkt bis 8—10 cm im Tale des Humboldtriver, um dann wieder mit Annäherung an die Wahsatch Mountains aufzusteigen.[7])

Ein gleichfalls progressives Wachsen der Niederschlagsmenge bei zunehmender Meereshöhe zeigen folgende Zahlen für die Umgebung der transkaspischen Wüsten[8])

[7]) Dutton ref. Wojeikoff, Ausland. 1877—1882.

[8]) v. Schwarz, Turkestan. S. 570.

| | Mittl. Höhe | Mittl. Regenmenge | Mittl. Regentage |
|---|---|---|---|
| Naryn und Karakol | 1843 m | 404,5 | 107 |
| Osch und Margelan | 807 m | 306,1 | 75 |
| Taschkent und Chodschent | 409 m | 290,3 | 65 |
| Turkestan und Perowsk | 205 m | 113,9 | 39 |
| Petro Alexandr. und Kasalinsk | 86 m | 98 | 34 |

Es ergibt sich aus der Natur der drei klimatischen Elemente: relative Feuchtigkeit, Bewölkung, Niederschläge, ihr gegenseitiges Abhängigkeitsverhältnis. Daß dieses jedoch nicht immer einfach ist und vielfachen Komplikationen unterliegt, zeigt der Verlauf der entsprechenden Kurven. Wir sahen, daß die relative Feuchtigkeit zuweilen ziemlich groß sein kann, und doch gibt es keine Niederschläge, weil kondensationsfeindliche Bedingungen herrschen. Anderseits ist es die große Abhängigkeit der relativen Feuchtigkeit von der herrschenden Temperatur, welche in Gebieten mit Sommerregen Abweichungen zwischen dem jährlichen Gang der relativen Feuchtigkeit und der Niederschläge bewirkt, indem sie die relative Feuchtigkeit im Winter zu größtem Maße anwachsen läßt.

Dove[9]) sagt in seinem „Klima von Südwestafrika", daß in diesem Gebiete die trockensten Monate nicht diejenigen sind, die in die niederschlagärmste Zeit fallen, sondern daß die relative Feuchtigkeit am geringsten in den warmen Monaten vor der eigentlichen Regenzeit ist. Es wird diese Angabe Doves durch die Mai 1900 bis Juli 1903 ausgeführten Messungen relativer Feuchtigkeit in Windhoek bestätigt, die ein Maximum relativer Feuchtigkeit im August ergaben bei Niederschlagsmaximum im September.[10])

In Alice Springs steht das Maximum der relativen Feuchtigkeit im Winter im Gegensatz zu den ausgesprochenen Sommerregen. Auch die Kurven von Petro Alexandrowsk zeigen eine ähnliche Abweichung — stärkste Niederschläge im März und Oktober, größte relative Feuchtigkeit im Sommer. Es wäre sehr lehrreich, das Verhältnis zwischen relativer Feuchtigkeit und Niederschlägen in Zentralasien festzustellen, weil relative Feuchtigkeit und Bewölkung dort in so eigenartiger Beziehung stehen. Jedoch ist dies durch das meines Wissens absolute Fehlen von fortlaufenden Beobachtungen der relativen Feuchtigkeit für die den Wüsten benachbarten Stationen nicht möglich.

In bezug auf die Abhängigkeit von Bewölkung und Niederschlägen voneinander läßt sich ungefähr dasselbe sagen wie von letzteren und der relativen Feuchtigkeit.

---

[9]) Dove, P. M. 1896/97. S. 38.

[10]) Mitt. aus den deutschen Schutzgebieten, herausg. v. Danckelmann. 1901—04.

Der Gang der drei Elemente in Death Valley ist für die klimatischen Verhältnisse des kalifornischen Wüstengebietes charakteristisch.[11])

| | Rel. Feuchtigkeit | Bewölkung | Regenmenge | Regenhäufigkeit |
|---|---|---|---|---|
| Mai | 26 % | 3,6 | 4,6 | 2 |
| Juni | 20 % | 3 | 1,3 | 1 |
| Juli | 20 % | 3,1 | 9,4 | 3 |
| August | 21 % | 2,5 | 15,2 | 1 |
| September | 27 % | 2,8 | 5,1 | 2 |

Während in dieser Wüste relative Feuchtigkeit und Bewölkung in der heißen Jahreszeit ungefähr um denselben Wert schwanken, steigt die Regenmenge im August zu relativ großer Höhe, 15,2 mm in einem Tage, an.

Supan[12]) hat die mittlere jährliche Niederschlagsschwankung, d. i. die Differenz zwischen der größten und kleinsten Monatssumme in Prozent der Jahresmenge, mit der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge in Beziehung gebracht und gefunden, daß die jährliche Niederschlagsmenge, unter sonst gleichen Verhältnissen, der Jahresschwankung umgekehrt proportional ist.

Der Übersicht halber seien hier einige von Supan berechnete Werte angegeben

| | | | |
|---|---|---|---|
| Copiapó | 100 % | P. Alexandrowsk | 26 % |
| Urga | 34 % | Ayata | 23 % |
| Kanas | 29 % | Alice Springs | 22 % |
| Bickaneer | 29 % | Yuma | 18 % |

Die mittlere Niederschlagsschwankung übersteigt also in den meisten Wüsten den Wert von 20 %. Ihren höchsten Wert erreicht sie in Copiapó, das von allen Orten der Erde die kleinste Niederschlagsmenge hat. Es bestätigt sich hier außerdem, da die meisten Wüsten ein ausgesprochen kontinentales Klima haben, die Aussage Brückners:[13]) die Intensität der Schwankungen des Regenfalles nimmt mit der Kontinentalität des Gebietes zu.

Gebiete mit einer mittleren Regenschwankung von 20 % und darüber, denen also fast alle Wüsten zuzuzählen wären, hat Supan also streng periodisch bezeichnet.[14]) Sie stehen mit ihrer Regellosigkeit in scharfem Gegensatz zu den Gebieten mit Regen zu allen Jahreszeiten.

Die jahreszeitliche Verteilung der Regen ist eine Frage von höchster Bedeutung für Wüstengebiete. Am meisten unheilbringend wird der Regenmangel kurz vor der Vegetationszeit oder innerhalb derselben sein.

---

[11]) Hann, M. Z. 1893. S. 23.
[12]) Supan, P. M. E.-Bd. 124. S. 60.
[13]) Brückner, Klimaschwankungen seit 1700. Wien 1890. S. 184.
[14]) Supan, P. M. E.-Bd. 124. S. 53.

Sind die Niederschläge so spärlich, daß sie beinahe fehlen, wie es in vielen Wüsten der Fall ist, so sinkt auch die praktische Bedeutung solcher Niederschlagsminima. Nach Schimper[15]) ist es die Wärme, welche dann die Vegetationsverhältnisse regelt und zur Zeit ihres Maximums im Verein mit der Trockenheit dem Pflanzenleben ein Ende macht.

Die kontinental gelegenen Gebiete mittlerer und höherer Breite haben nach Gesetzen der allgemeinen Luftzirkulation Sommerregen. Ihr Auftreten in Zentralasien ist ein normales. Dagegen ist das Auftreten von Winterregen in den kontinentalen Gebieten der Sahara, Arabiens, Persiens und Turans als Anomalie aufzufassen. Alle diese Gebiete gehören dem subtropischen Regentypus an, der sonst nur auf die unter dem Einfluß der subtropischen Antizyklone stehenden Westküsten der Kontinente beschränkt ist.

Die Wüsten des Subtropengebietes der südlichen Halbkugel, die Wüste Südwestafrikas wie die Inneraustraliens sind durch Sommerregen ausgezeichnet, während die Atacama, die Wüste Tharr und die nordamerikanischen Wüsten als Grenzgebiet zwischen Sommer- und Winterregen aufgefaßt werden können.

Die spärlichen Regen in der südlichen Sahara sind durch die Monsunwinde hergebracht. Dagegen gibt es in der nördlichen Sahara etwa bis zur Breite von Murzuk keine Sommerregen. Die seltenen Gewittergüsse fallen in der Zeit vom Oktober bis April. Sie sind wie die subtropischen Winterregen zyklonaler Natur. Schirmer[16]) sagt, daß gewöhnlich die Zyklonen nur die saharische Küste streifen. Durchkreuzen sie den Kontinent, so finden große Regengüsse statt. Solche Durchgänge von Zyklonen finden aber vornehmlich im Herbst und Frühjahr statt, und darauf ist es zurückzuführen, daß die Regen in der algerischen Sahara im Herbst und Frühjahr eher als im Winter fallen. Die Mission Foureau[17]) hat auf ihrer Reise von Oktober 1898 bis Juli 1900 46 richtige Regentage und 70 Tage mit Regentropfenfällen notiert. Davon kamen auf die algerische Sahara während der Hälfte des Oktober 6 mal Regen, auf die zentrale Sahara während 4 Monaten 11 mal Regen. Erst in der Region des Aîr fanden in 5 Monaten 29 Regenfälle statt. Das ist, angesichts des orographisch bedingten Regenreichtums des Aîr, wenig im Verhältnis zu den Regen der algerischen Sahara, beweist aber noch einmal die für jene Gebiete geltende Zunahme der Regen im Herbste.

Für Arabien und Persien ist der Südwestmonsun der Regenbringer. Daß die Winterregen demnach so spärlich sind, ist in schon erwähnten

[15]) Schimper, Pflanzengeographie. S. 637.
[16]) Schirmer, Le Sahara. S. 89—92.
[17]) Foureau, Doc. Scient. S. 88—91.

orographischen Umständen begründet, welche die fast absolute Trockenheit des Südostwindes vor seinem Eintritt in die Wüste bedingen.

Auch in Turan erfolgen die Niederschläge größtenteils im Winter. Aus seiner Lage und Umgrenzung ergibt es sich, daß es fast alle seine Niederschläge dem persischen Golf, dem Roten Meer und dem Mittelmeer verdankt. Daraus erklärt sich das höchst seltene Vorkommen von Sommerregen, sowie daß die West- und Südwestwinde fast die einzigen Regenbringer sind.[18])

Wie wir schon bei Betrachtung der Windverhältnisse in Nordindien sahen, ist die indische Wüste von der Feuchtigkeit des Südwestmonsuns nicht ganz unbeeinflußt. Weder Sommer- noch Winterregen sind hier regelmäßig. Nach Blanford[19]) fällt Regen nur dann, wenn eine von Osten kommende Zyklone vor ihrem Ausbruche Sind erreicht oder wenn sich im Winter ein Barometerminimum in Sind bildet. Nach Hann[20]) zeigen die Wetterkarten für Nordindien in der Tat das im Sommer erfolgende Wandern einer Reihe von kleinen Zyklonen gegen Nordwestindien zu, die von Regen begleitet sind. Ebenso bewegen sich in der Winterregenzeit kleine aus Persien und Afghanistan stammende Barometerminima langsam in westöstlicher Richtung.

Die Regenverhältnisse Zentralasiens unterscheiden sich im wesentlichen von den eben besprochenen, indem Teile dieses Wüstengebietes eine mehr oder weniger ausgesprochene Regenzeit im Sommer haben. Die von Nordoststürmen begleiteten winterlichen Niederschläge, welche vom Polarmeer stammen, können die Wüsten nicht erreichen, da die Nordabhänge der zentralasiatischen Randgebirge sie am Vordringen hindern. Ebenso steht dem in der Gobi, Ala-schan und Ordos regenbringenden Südostmonsun eine mehrfache Gebirgsmauer im Wege, welche das Tarimbecken von seiner Regenwirkung fernhält.

Nach Supan[21]) ergibt sich aus den Darstellungen Przewalskis und Wojeikoffs folgende prozentige Verteilung der Niederschläge auf die Monate

| | Jan. | Febr. | März | Apr. | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ostmongolei | 1 | 1 | 3 | 1 | 11 | 20 | 33 | 19 | 8 | 2 | 0,5 | 1 |
| Östl. Nan-schan u. Kuku Nor | 0,5 | 0,3 | 2 | 0,5 | 11 | 19 | 28 | 23 | 11 | 3 | 1 | 0,5 |
| Ostturkestan | 2 | 0,3 | 1 | 0,1 | 3 | 10 | 17 | 35 | 1 | 0,6 | 0,6 | (0) |

Das mit dem zentralasiatischen nach so vielen Richtungen hin verwandte Wüstengebiet Nordamerikas hat eine von ersterem abweichende

[18]) v. Schwarz, Turkestan. S. 575/76.
[19]) Blanford, Climates etc. S. 134.
[20]) Hann, Handb. d. Klim. II. S. 187.
[21]) Supan, P. M. Erg.-Bd. 124. S. 60

Regenverteilung. In der Mohave-Wüste fällt nach Loew[22]) der Regen nur im Sommer, von Südostwinden verfrachtet, in der Gila-Wüste herrscht im Juli und August ungefähr sechs Wochen lang eine Regenzeit. Greely hat die Regen der Vereinigten Staaten in verschiedene Typen eingeteilt. Drei dieser Typen, den Missouri-Typus, charakterisiert durch schwachen Regenfall im Winter, Hauptregen im Frühjahr und Sommer, den mexikanischen Typus, mit Regenfall nach dem Sommer-Solstitium und Trockenheit nach der Frühjahrsnachtgleiche, und den pazifischen Typus mit Niederschlägen im Winter und fast absolutem Fehlen derselben im Sommer, finden wir in der nordamerikanischen Wüstenregion zum Teil getrennt, zum Teil vergesellschaftet auftretend. Aus diesen zahlreichen Einflüssen geht es hervor, daß die Regenkurve zahlreiche Schwankungen und kein ausgesprochenes Maximum hat. Den drei Greelyschen Regentypen entsprechend, können für das nordamerikanische Wüstengebiet drei Fälle maßgebend sein, die alle Vegetationslosigkeit bedingen. Entweder der Regen fällt in der richtigen Zeit, ist aber zu spärlich, oder er fällt unregelmäßig in seltenen Gewittergüssen, oder er fällt in einer für die Pflanzenentwickelung ungünstigen Zeit.[23])

Über die Regen der Atacama-Wüste fehlen genauere Angaben. Das ganze Gebiet ist ja so gut wie regenlos, und die wolkenbruchartigen Niederschläge, die von Zeit zu Zeit erfolgen, bleiben bedeutungslos für die Vegetation. Nach Harding[24]) fallen im Winter zwei oder drei leichte Regenschauer, die den Boden kaum benetzen. Nach Darapski[25]) hat die chilenische Seite der Puña de Atacama, entgegen der gemeingültigen Regel der Westküste, im Sommer starke Niederschläge und im Winter dafür klare, stille Tage.

Die südwestafrikanische Wüste gehört in das Gebiet der subtropischen Sommerregen. Die höchst seltenen Regen werden im Sommer von Nordostwinden angetrieben, doch können auch die Südwestwinde im Winter aus schon erwähnten Ursachen Regen bringen. Im allgemeinen ist, nach Dove,[26]) eine Zunahme der Regen nach Norden und Osten zu beobachten. Die jahreszeitliche Verteilung der Regen ist ungefähr so, daß die Hauptregenzeit im Hochsommer stattfindet. Ihr geht eine kurze, aber scharf entwickelte Periode der Frühjahrsregen voraus. Ende des Sommers nehmen die Regenfälle ab, um dann im Oktober wieder zu größeren Werten anzuwachsen.

---

[22]) Hann, Handb. d. Klim. II. S. 345.
[23]) Brunhes, Ann. de Géogr. 1894/95. S. 19—25.
[24]) Harding, I. of the R. G. Soc. 1877. S. 253.
[25]) Darapski, Taltal. S. 105.
[26]) Dove, P. M. 1896/97. S. 29—35.

Nach Lespagnol[27]) hat das wüstenhafte Innere von Australien im Mittel 20 cm Regen, also ganz unzureichende Niederschläge. Es ist eine starke Abnahme der Regenmenge von Westen nach Osten zu beobachten. Bei ungefähr gleicher Breite hat Bourke 431 mm, Milparinka 254 mm, Farina 160 mm, Strangways Springs 126 mm. Es kommt hierbei allerdings in Betracht, daß Farina und Strangways Springs in der zentralen Depression, also tiefer als die beiden anderen Stationen, liegen. Daß aber die Regel einer Regenabnahme von Westen nach Osten in Australien gemeingültig ist, beweist die Tatsache, daß selbst an der Westküste der Regenfall geringer ist als im östlichen Innern. Daraus erklärt sich die Lage der großen Wüsten im Zentrum und im Westen. Was die jahreszeitliche Verteilung der Regen anbelangt, so fallen die meisten Regen im Sommer. Daß der Regen immer in kurzen Gewittergüssen niederfällt, zeigt ein Vergleich der Regenmenge und Regenhäufigkeit für mehrere Stationen des Innern. Nach Lespagnol fallen in

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Daly Waters | 530 | mm | in | 45 | Tagen |
| Haddon | 288 | „ | „ | 11 | „ |
| Innaminka | 262 | „ | „ | 20 | „ |
| West Cossack | 241 | „ | „ | 19 | „ |

## Verhältnis zwischen Niederschlägen und Verdunstung.

Von dem Verhältnis zwischen Niederschlägen und Verdunstung hängt die Zukunft der Wüstenländer ab. Alle bisher besprochenen klimatischen Faktoren wirken dahin, dieses Verhältnis, das für das Fortschreiten der Wüstenbildung maßgebend ist, günstig oder ungünstig zu gestalten.

Man muß unterscheiden zwischen der Evaporationskraft, d. i. der Fähigkeit der Luft, Wasserdampf aufzunehmen, und der Verdunstung, die von den vorhandenen Wasser- beziehungsweise Vegetationsflächen abhängt.[28]) Erstere, auch die mögliche Verdunstung genannt, ist in den Wüsten besonders groß, da die heiße, trockene Luft begierig jeden Wasserdampf in sich saugt, letztere aber, die wirkliche Verdunstung, ist beinahe 0.

In der Sahara ist die mögliche Verdunstung einige Male gemessen worden. Die Mission Flatters fand 1880 als Mittel der Verdunstung im Schatten:

8 mm 7 für 12 Stunden während der ersten Hälfte der März,
8 mm 4 für 12 Stunden im Mai

---

[27]) Lespagnol, Ann. de Géogr. 1898. S. 160—165.
[28]) Wojeikoff, Klimate d. Erde. I. S. 21.

und als absolutes Maximum in der Sonne 18 mm in 12 Stunden den 9. April. Die Verdunstung ist noch viel größer in Ighergharên. Sie betrug den 27. April, einem windigen und trockenen Tage, für 12 Stunden 29 mm. Im Bassin des Gila soll die jährliche Verdunstung 2 m 27 betragen.[29])

In denjenigen Wüstengebieten, die, wie das aralokaspische, größere Wasserflächen besitzen, sehen wir die Verdunstungsmenge beträchtlich die Niederschlagshöhe übersteigen. So hatte Nukuss (1875—79) bei einer jährlichen Regenmenge von 71 mm eine Verdunstungsmenge von 1931 mm, Petro Alexandrowsk bei einer Regenmenge von 65 mm eine Verdunstungsmenge von 2321 mm.[30])

Untersuchungen über die Verdunstungsgröße der Wüstengewässer sind von Schmidt und Dohrand am Aralsee mit schwimmenden Evaporametern festgestellt worden.[31]) Die jährliche Verdunstungsmenge betrug für süßes Flußwasser 1278,7 mm, für salzreiches Seewasser 1150 mm. Daraus geht ein Herabsetzen der Verdunstungsgröße durch im Wasser enthaltene hygroskopische Salze hervor. Bei der Verschiedenheit des Salzgehaltes der Wüstengewässer, wird die Verdunstung daher unter sonst gleichen Verhältnissen wechselnde Werte annehmen.

In den Wüsten Zentralasiens fällt der Faktor größerer Verdunstungsflächen zum größten Teile fort, da große Seen nicht vorhanden sind und die kleinen Wüstenseen infolge ihres hohen Salzgehaltes nur wenig Verdunstungswasser abgeben. An manchen Stellen bieten Vegetationsflächen einen nicht zu unterschätzenden Ersatz, so die schon erwähnten Felder und Pappelwälder in der Umgebung der Takla Makan.

Rehbock[32]) hat während seines Aufenthaltes in Deutsch-Südwestafrika 216 Tage, lang (vom 5. Januar bis 31. August) Verdunstungsmessungen angestellt. Er ermittelte folgende Werte:

| | Schale I (ungeschützt) | Schale II (im Schatten) |
|---|---|---|
| Mittlere Verdunstungshöhe pro Tag für die ganze Beobachtungszeit . . . . . | 12,5 mm | 9,1 mm |
| Größte mittlere Verdunstungshöhe in einem Monat (Januar) pro Tag . . . . . | 14,2 mm | 10 mm |
| Kleinste mittlere Verdunstungshöhe in einem Monat (August) pro Tag . . . . . | 10,6 mm | 8 mm |
| Größte Verdunstungshöhe für einen Tag (14. Jan.) | 17,4 mm | 13,2 mm |
| Kleinste Verdunstungshöhe für einen Tag (5. März) | 4 mm | 3 mm |

[29]) Schirmer, Le Sahara. S. 107/108.
[30]) Supan, Gr. d. ph. Erdk. S. 544.
[31]) Walther, Ges. d. Wüst. S. 13.
[32]) Rehbock, Deutsch-Südwestafrika. S. 43/44.

Die Verdunstungshöhe im ganzen Jahre würde nach Rehbock 4,55 m bzw. 3,30 m betragen, je nachdem die zu den Experimenten benützte Schale ungeschützt oder im Sonnenschutze stand. Nimmt man die mittlere Regenhöhe von Südwestafrika nach den von Hann für fünf Orte angegebenen Mitteln zu 280 mm an, so ergibt sich klar der Überschuß der Verdunstung über die Niederschläge in jenem Gebiete.

Auch für Australien steht es fest, daß die Verdunstungshöhe die Regenmenge überwiegt. Nach Russell kann im Innern die Verdunstung 30 cm monatlich während der Sommerhitze betragen, ist also etwa 10 mal so groß wie die Regenmenge. In Alice Springs beträgt sie 2577 mm bei einer mittleren Regenmenge von 226 mm.[33])

Wenn auch die durch experimentale Messungen gewonnenen Verdunstungswerte keine große praktische Bedeutung haben, da sie nicht sehr genau sind und sich außerdem auf viel zu kleine Verdunstungsflächen beziehen, so genügen sie doch, um eine richtige Vorstellung von dem die Wüstenbildung im hohen Maße begünstigenden Verhältnissen zwischen Niederschlägen und Verdunstung zu geben.

---

Die Betrachtung der einzelnen Elemente des Wüstenklimas führt uns zu der Frage: Welches Klima ist der Wüstenbildung am günstigsten? An dieser Stelle scheint mir zunächst eine Erörterung des exzessiven Landklimas am Platze. Der Begriff des kontinentalen Klimas unterliegt vielen Schwankungen. Hann[34]) gibt uns in seinem Handbuch der Klimatologie eine Darlegung der Theorie Zenkers, welcher ihn in bezug auf die Temperaturverhältnisse feststellte, unter Benutzung der Größe der mittleren Jahresschwankung der Temperatur. Da aber die Jahresschwankung theoretisch mit dem Sinus der Breite zunimmt, während die Kontinentalität unabhängig von der Breite ist, so muß man, um den Grad der Kontinentalität durch sie auszudrücken, die Jahresschwankung durch den Sinus der Breite dividieren. Zenker ersetzte diesen Wert durch den Bogen der geographischen Breite. Der so erhaltene Quotient, die relative Temperaturschwankung, liefert dann das Maß für die Kontinentalität eines Gebietes. Zenker hat den Ort Schimmedru (Oase Kauar) in der Sahara als den kontinentalsten bezeichnet, da er die relative Temperaturschwankung 100 aufweist. Aus der relativen Jahresschwankung wird nun der Grad der Kontinentalität folgendermaßen berechnet: es sei x der in Prozenten zu bestimmende Grad der Kontinentalität, n die relative Temperaturschwankung, so ist, da die Ozeane in ihrer größten

[33]) Lespagnol, Ann. de Géogr. 1898. S. 223.
[34]) Hann, Handb. d. Klim. I. S. 215.

Ausdehnung auf der nördlichen Hemisphäre eine relative Schwankung von 16 %, d. i. 1/6 von der in rein kontinentalen Gebieten, aufweisen, der Anteil des Seeklimas an der relativen Schwankung $= \frac{1}{6}(100-x)$, der des Landklimas $= x$. Folglich ist die relative Schwankung $n = 1/6 (100 - x) + x$, woraus sich ergibt $x = \frac{5}{6} n - 20$. Nach dieser Formel habe ich für einige Wüstenstationen folgende Werte berechnet:

| | Relat. Temperaturschw. | Grad d. Kont. |
|---|---|---|
| Petro Alexandrowsk | 99 % | 99 % |
| Urga | 94 % | 93 % |
| Alice Springs | 83 % | 80 % |
| Bickaneer | 82 % | 78 % |
| Ft. Mohave | 74 % | 69 % |
| Hoachanas | 70 % | 64 % |

Zenker hat in seinem letzten Werke[35]) neue Formeln zur Berechnung des Grades der Kontinentalität angegeben, deren Besprechung hier zu viel Raum in Anspruch nehmen würde und die sich zur Berechnung der Kontinentalität von Wüstengebieten insofern wenig eignen, als ihnen die für Wüstenstationen oft fehlenden Werte des Dunstdruckes und der Bewölkung zugrunde liegen.

Neben der mittleren Jahresschwankung der Temperatur hat Wojeikoff[36]) das Verhältnis der Frühlings- und Herbstmonate sowie das Maß der relativen Feuchtigkeit, der Bewölkung und der Niederschläge als diejenigen Elemente bezeichnet, welche extrem kontinentale Verhältnisse charakterisieren. Nach Wojeikoff weisen alle die genannten Faktoren, die Jahresschwankung der Temperatur ausgenommen, auf die Sahara als auf die kontinentalste aller Wüsten in klimatischem Sinne hin. Doch kann jede derartige Bestimmung nicht den Anspruch auf absolute Gültigkeit machen, da die Kontinentalität in klimatischer Beziehung ein viel zu komplexer Begriff ist, um auf Grund so mangelhafter klimatologischer Daten, wie der bis jetzt vorhandenen, festgestellt zu werden.

Noch weniger zu einem festen Begriffe geworden als das kontinentale Klima ist das Hochflächenklima, das seine ganz spezifischen Besonderheiten aufweist. Da die Hochfläche diejenige Oberflächenform ist, der die meisten Wüsten angehören, so wird es von Interesse sein, festzustellen, ob das Hochflächenklima an sich durch Förderung der Wüstenbildung eine Ursache dieser Verteilung der Wüsten ist. Wenn auch noch wenige Untersuchungen nach dieser Richtung hin gemacht worden sind, so berechtigen doch zahlreiche Gesichtspunkte zu letzterer Annahme.

---

[35]) Zenker, Nova Acta. Halle 1891. „Der thermische Aufbau der Klimate."
[36]) Wojeikoff, M. Z. 1894. S. 1—9.

Die Besonderheiten des Hochflächenklimas werden sich vornehmlich in einer größeren mittleren Jahrestemperatur, sowie auch einer größeren Jahres- und Tagesschwankung äußern, als wie sie Gebirgen von entsprechender Erhebung eigen sind. Die größere Wärme bei Hochflächen gegenüber Bergen von gleicher Höhe ist ja leicht durch den Umstand zu erklären, daß der Boden eine sehr kräftige Wärmequelle ist und eine Wärmequelle von größerer Ausdehnung wirksamer sein muß. Insofern stimmen Hochflächen mit dem Tieflande überein, haben aber vor demselben den Vorteil voraus, daß ihre Luft, da sie beträchtlich dünner ist als im Tieflande, einen raschen Wechsel von Abkühlung und Erwärmung des Bodens und der untersten Luftschichten zuläßt. Daraus erklärt sich auch die bedeutende Jahres- und Tagesschwankung, die das Hochflächenklima kennzeichnet.

Nach Supan[37]) ist die Zunahme der Jahresschwankung der Temperatur auf Hochflächen noch nicht so endgültig erwiesen, wie dies für die Tagesschwankung der Fall ist. Auf manchen Hochflächen soll die mittlere Jahresschwankung der Temperatur geringer sein als im kontinentalen Tieflande.

Dazu kommt noch der Einfluß, den die Hochfläche auf benachbarte Luftströmungen ausübt. Indem sie sie zum Aufsteigen zwingt, wird jene föhnartige Wirkung erzeugt, von der bei Besprechung der Luftzirkulation in den Wüsten oftmals die Rede war. Wenn man bedenkt, daß eben diese Wirkung Regenmangel zur Folge hat und die hohen Temperaturgrade das Maß relativer Feuchtigkeit bedeutend verringern, so findet man in dem Hochflächenklima alle Hauptzüge des exzessiven Landklimas vereinigt, mit dem es im wesentlichen übereinstimmt. Da manche der Elemente des kontinentalen Klimas auf Hochflächen noch verschärft auftreten, so dürfte man nicht fehlgehen, wenn man das Hochflächenklima als dasjenige bezeichnet, das am meisten im Sinne der wüstenbildenden Kräfte wirkt.

---

In den folgenden Teilen werden die geognostischen und hydrographischen Verhältnisse der Wüsten erörtert, in gleicher Weise wie es für das Wüstenklima geschah.

Zum Schlusse werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefaßt und mit einem Überblick über die geologische Geschichte der Wüsten verbunden.

---

[37]) Supan, Gr. d. ph. E. S. 60—83.

Ich, Helene Wiszwianski, Tochter des verstorbenen Mag. pharm. Samuel Wiszwianski und seiner verstorbenen Gattin Sophie geb. Tugendhold, bin am 16. Dezember 1881 zu Neuchâtel in der Schweiz geboren,

Den ersten Unterricht empfing ich privatim in Wien, ich besuchte die Kgl. Augustaschule zu Berlin, dann die Ecole Normale zu Neuchâtel, auf welch letzterer Anstalt ich Oktober 1898 die Lehrerinnenprüfung bestand.

Im Herbste 1898 bezog ich die Universität Berlin. Während meiner Studienzeit absolvierte ich die Lehrerinnenprüfung am Kgl. Lehrerinnen-Seminar im November 1900, die Reifeprüfung an der Luisenstädtischen Oberrealschule Ostern 1904. Die Promotionsprüfung bestand ich am 8. Februar 1906 magna cum laude.

Meine Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten:

v. Bezold, Branco, v. Drygalski, Erman, v. Luschan, Meinardus, Passarge, Paulsen, Potonié, Frhr. v. Richthofen †, Seler, Stumpf, Wahnschaffe.

Allen genannten Herren erlaube ich mir meinen herzlichsten Dank auszusprechen für die mannigfache Anregung und Anleitung, die mir zuteil geworden ist.

Es sei mir auch gestattet, an dieser Stelle mit Wehmut und Dankbarkeit meines unvergeßlichen Lehrers Prof. Dr. Frhrn. Ferdinand von Richthofen zu gedenken, der mich immer in gütigster Weise mit seinem Rate unterstützt, angeregt und gefördert hat und dessen warmes Interesse mich während meiner ganzen Studienzeit begleitete.